Nelson Antonio Vanegas Molina
Universidad Nacional de Colombia

Proyectos de diseño mecánico para ingenieros

Atena Editora
Ano 2023

Nelson Antonio Vanegas Molina
Universidad Nacional de Colombia

Proyectos de diseño mecánico para ingenieros

Atena Editora
Ano 2023

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
Santiago Vanegas Serna
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2023 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2023 Os autores
Copyright da edição © 2023 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Proyectos de diseño mecánico para ingenieros

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: O autor
Autor: Nelson Antonio Vanegas Molina
Universidad Nacional de Colombia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M722 Molina, Nelson Antonio Vanegas
Proyectos de diseño mecánico para ingenieros / Nelson Antonio Vanegas Molina. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1987-7
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.877230512

1. Ingeniería. I. Molina, Nelson Antonio Vanegas. II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

SUMÁRIO

INTRODUCCIÓN 1

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ROLADORA DE RODILLOS PARA LÁMINAS..... 5

1.1 Introducción 5

1.2 Objetivos 8

1.3 Estado del arte 8

1.3.1 Proceso de rolado 8

1.3.2 Subsistemas que conforman una máquina roladora 9

1.3.3 Clasificación de máquinas roladoras según número y disposición de rodillos 13

1.4 Diseño conceptual 16

1.4.1 Subsistema 1. Rodillos de rolado 16

1.4.2 Subsistema 2. Transmisión de potencia 17

1.4.3 Subsistema 3. Estructura de la máquina 18

1.4.4 Configuración del concepto final 23

1.5 Diseño preliminar 26

1.5.1 Cálculos de los rodillos 26

1.5.2 Cálculos de la base de estructura 27

1.6 Diseño de detalle 29

1.7 Materialización del sistema. Manufactura y ensamble 32

1.7.1 Subsistema 1. Rodillos de rolado 32

1.7.2 Subsistema 2. Transmisión de potencia 34

1.7.3 Subsistema 3. Estructura de la máquina 35

1.8 Estado final de máquina roladora de láminas 39

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOBLADORA PARA PERFILES METÁLICOS 42

2.1 Introducción 42

2.2 Objetivos 44

2.2.1 Objetivo general del proyecto 44

2.2.2 Objetivos específicos del proyecto 45

SUMÁRIO

2.3 Equipos existentes en la industria 45

2.4 Funcionamiento general de una máquina dobladora de perfiles.....49

2.5 Diseño conceptual y especificaciones de la máquina..... 52

2.5.1 Diseño conceptual.....52

2.5.2 Especificaciones de diseño y características de la máquina.....53

2.6 Diseño preliminar y cálculos 55

2.6.1 Esfuerzo que debe aplicarse para obtener el perfil doblado.....55

2.7 Diseño de detalle 58

2.7.1 Descripción de los componentes 63

2.7.2 Descripción de la máquina diseñada 66

2.8 Proceso de fabricación..... 68

2.8.1 Fases para la materialización de la máquina.....68

2.8.2 Costos de fabricación.....73

2.8.3 Montaje con pruebas de doblado 74

3. APLICACIONES DE PROYECTOS DE SISTEMAS MECÁNICOS.....77

3.1 Introducción 77

3.2 Triciclo de derrape..... 80

3.2.1 Especificaciones de diseño.....82

3.2.2 Diseño conceptual 85

3.2.3 Diseño de detalle.....87

3.2.4 Manufactura 91

3.3 Otras aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos 95

4. CONCLUSIONES 102

4.1 Conclusiones diseño y construcción de una roladora de rodillos para láminas.....102

4.2 Conclusiones diseño y construcción de una máquina dobladora para perfiles metálicos.....104

4.3 Conclusiones aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos 106

REFERENCIAS 108

SOBRE EL AUTOR 112

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo, planeación y ejecución de proyectos en ingeniería son ampliamente usadas en el proceso de enseñanza aprendizaje para estudiantes de ingeniería las metodologías de aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en retos, entre muchas otras. Todas estas metodologías acercan a estudiantes en formación, ingenieros y docentes a las fases de prácticas activas por partes de todos los agentes que participan.

El libro “proyectos de diseño mecánico para ingenieros” es una contribución para que docentes, estudiantes de ingeniería e ingenieros, vinculen de forma directa los proyectos de ingeniería con temas de diseño mecánico; relacionando de una forma muy clara los campos de acción académico, profesional y laboral.

Los lectores tienen en sus manos un libro con proyectos de ingeniería en el campo de diseño mecánico, que pueden emplear y replicar en cursos de ingeniería de características similares; y que además son soporte para que los docentes guíen a su estudiantes de ingeniería en formación, en el que pueden realizar proyectos de ingeniería simples o de mayor complejidad.

El libro permite a los lectores aplicar los conceptos y metodologías de diseño enseñados o aprendidos en cursos teóricos, en proyectos de ingeniería prácticos, que robustecerán la formación integral de manera positiva, ya que se avanza en cada uno de los proyectos en las fases de diseño mecánico hasta concebir y materializar a través de la fabricación, ensamble y puesta a punto, de cada una de las máquinas proyectadas.

El libro es de gran apoyo y guía de uso en la enseñanza - aprendizaje de proyectos de ingeniería, que contiene aplicaciones prácticas completas con ejemplos claros y reales de ejercicios de ingeniería, que permiten al lector realizar un acompañamiento de las diferentes metodologías de diseño mecánico y así poder finalmente aplicar las fases del diseño, hasta la fabricación definitiva del proyecto.

El libro “proyectos de diseño mecánico para ingenieros”, contiene ejemplos y aplicaciones de diseño mecánico, que permitirá guiar a los lectores: estudiantes de ingeniería, docentes e ingenieros, a entender como en un proyecto de ingeniería intervienen las distintas fases del diseño y se introducen en proyectos reales de sistemas mecánicos, que permiten desde la fase de las necesidades del proyecto, definición del proyecto, clarificar el problema, realizar las fases de diseño conceptual y diseño preliminar, hasta obtener un diseño de detalle, que conllevará a la manufactura final del proyecto de ingeniería.

Aquí se realizan distintos casos de aplicaciones, de máquinas, equipos y dispositivos que paso a paso facilitarán el ejercicio del diseño y manufactura de los proyectos de ingeniería. El libro emplea gran cantidad de ilustraciones, dibujos, planos, representaciones mecánicas, fotografías, figuras, tablas, entre otros que enriquecen la claridad de las aplicaciones empleadas.

El trabajo se centra en presentar de manera práctica la forma de clarificar y dar solución a varios proyectos de ingeniería, haciendo uso de varias metodologías de diseño que permiten de forma organizada y planeada, dar solución viable a los proyectos de ingeniería presentados, esto permitirá a los lectores enfrentar con mayor claridad proyectos similares y otros de mayor complejidad. Además, los proyectos son solucionados mediante diversas metodologías para mostrar al lector que son múltiples las formas de abordarlos.

Durante el ejercicio de aprendizaje de los proyectos de ingeniería y de diseño mecánico muchos estudiantes de ingeniería solo desarrollan las etapas teóricas y conceptuales de un proyecto, sin llegar a manufacturar nunca un proyecto durante su formación como ingenieros, la etapa de construcción o fabricación de un proyecto entrega a un estudiante en formación grandes aprendizajes, complementando su formación y le permiten validar a través de ejercicios aplicados si lo que proyecta de forma teórica, realmente funciona.

Es de vital importancia complementar la formación de los estudiantes de ingeniería de forma aplicada y práctica, que ellos tengan una mirada más completa de lo que significa planear, ejecutar y controlar un proyecto de ingeniería, que deben considerar entre muchos aspectos: los técnicos, los financieros, los ambientales, entre otros; para que el proyecto que especificaron se haga realidad; y eso se logra mediante proyectos reales y prácticos. El ingeniero en formación debe tener mayor acercamiento a las metodologías propias para abordar proyectos, a los procesos de manufactura, a las herramientas, a los materiales, a los costos de mano de obra, a lo que implica y conlleva hacer un proyecto complejo y considerando otros aspectos como su mantenimiento y uso, que implicaciones tiene el transporte y la logística, y cuáles son los consumos energéticos; este tipo de proyectos acercarán más a los estudiantes a como se puede lograr con mayor éxito su desempeño profesional.

El desarrollo de un proyecto de ingeniería, que incluya todas sus fases de diseño entre ellas la planeación, ejecución y control del proyecto, aporta sustancialmente en la formación de estudiantes de ingeniería e ingenieros; pero este ejercicio tiene más impacto si a través de los proyectos se llega a las últimas fases de diseño de detalle y construcción, ya que con ellas se logra garantizar su fabricación y validar el dimensionamiento adecuado del producto final y la capacidad requerida de acuerdo con las necesidades proyectadas para el cliente; lo cual asegura que la solución implementada cumpla con las especificaciones y características, y permita finalmente aportar en los procesos productivos y en el mejoramiento de la calidad de vida.

Cada uno de los capítulos de este libro son independientes y en cada uno de ellos se presenta un proyecto diferente y abordado de forma diferente, cada proyecto se define y se va clarificando, en algunos casos de forma más detallada que en otros, y a medida que avanza cada capítulo se presentan alternativas de solución de cada proyecto, las cuales son evaluadas hasta obtener una alternativa de solución viable, con la cual se llega hasta

la etapas de diseño preliminar y de detalle, que finalmente facilitará la manufactura de la máquina o equipo.

A continuación, se presenta la estructura del libro:

Capítulo 1. Diseño y construcción de una roladora de rodillos para láminas. En este capítulo el objetivo general es diseñar y construir una máquina roladora de láminas planas, con ancho de rolado de la lámina de máximo de 500 mm y para espesor de lámina de máximo 3/16”; además, de contar con una mesa móvil que permite desplazar la máquina con mayor facilidad. En este capítulo se muestra la importancia de iniciar el proceso de diseño, realizando las definiciones del proyecto de forma que los fundamentos teóricos y principios físicos de la temática del proceso de rolado de láminas, clarifiquen el problema y orienten a los diseñadores: estudiantes de ingeniería, docentes e ingenieros; en las alternativas de solución. En la fase del diseño preliminar es realizada la evaluación técnica de los rodillos de la roladora considerados las piezas más importantes desde la fase de diseño conceptual, que permiten obtener información definitiva de la forma geométrica, dimensiones, número y disposición de los rodillos, procesos de manufactura, tratamientos térmicos y ensamble de los rodillos dentro del sistema; logrando definir los materiales y las interferencia de los rodillos de rolado con las otras componentes de los demás subsistemas de la máquina Posterior a la manufactura de los tres subsistemas: 1) subsistema 1. Rodillos de rolado; 2) subsistema 2. Transmisión de potencia y 3) subsistema 3. Estructura de la máquina; que conforman la máquina roladora de rodillos para láminas, se da atención a la fase de manufactura y ensamble de la máquina que permite validar el funcionamiento de la máquina en búsqueda del cumplimento de las especificaciones de diseño.

Capítulo 2. Diseño y construcción de una máquina dobladora para perfiles metálicos. En este capítulo se presenta de manera organizada los equipos existentes en la industria, el funcionamiento general de una máquina dobladora de perfiles, el diseño conceptual y especificaciones de la máquina, el diseño preliminar y cálculos, el diseño de detalle y el proceso de fabricación de la máquina, usando gran variedad de diagramas morfológicos para representar la solución viable al diseño requerido; es seleccionado un concepto para el sistema conformado por cuatro subsistemas: 1) subsistema 1. Base, 2) subsistema 2. Palanca de giro, 3) subsistema 3. Tope y 4) subsistema 4. Dado principal y dado móvil. Son caracterizados los mecanismos que dan solución a los requerimientos, se logra obtener un diseño con una configuración simple, de fácil fabricación, fácil uso y costo viable. Y en donde fueron consideradas como principales características de ingeniería: las dimensiones, los subsistemas, el número de piezas, el peso, el número de operarios, que sea compacta, la seguridad, la ergonomía, la precisión, el ser versátil y los elementos comerciales empleados. Mediante variadas formas de representación gráfica se ilustra el proyecto de manera muy clara, coherente y ordenada, lo que permite al lector replicar de forma fácil esta metodología para abordar y dar solución a proyectos similares y de mayor complejidad.

Capítulo 3. Aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos. Este capítulo inicia realizando una introducción a la manera como se presenta un proyecto de ingeniería, los cuales deben tener una estructura y cuerpo que responda al menos a estos cuestionamientos básicos: 1) qué?, 2) porqué?, 3) para quién?, 4) para qué?, 5) cómo?, 6) quiénes?, 7) cuándo?. En segundo lugar se presenta el proyecto triciclo de derrape con el cual se procura generar que los integrantes se motiven, se cautiven, se vinculen con el producto final y que puedan a la vez disfrutarlo, ello es una forma muy apropiada para integrar el equipo de trabajo alrededor del proyecto de ingeniería para estudiantes y aprendices en formación. El objetivo diseñar un triciclo de derrape que atienda las especificaciones técnicas para ser un vehículo de competición, seguro e innovador, son evaluados tres alternativas y se selecciona una solución conformada por seis subsistemas los cuales permiten dar solución al problema de diseño: 1) subsistema chasis, 2) subsistema ruedas, 3) subsistema asiento, 4) subsistema dirección, 5) subsistema frenos, y 6) subsistema eje trasero y elementos complementarios. Que conforman el vehículo, generando una solución viable que conlleva a la manufactura del triciclo de derrape, completamente ensamblado y funcional. El capítulo culmina con la presentación de diez propuestas de aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos: 1) elevador de acceso a piscinas para discapacitados, 2) dispositivo para el ensilaje, 3) máquina para flexión y extensión de rodilla, 4) dispensador automático de alimento refrigerado para mascotas, 5) diseño de un horno solar, 6) elevador para el mantenimiento de motocicletas, 7) rediseño de una bicicleta de alquiler, 8) proyecto *travers longborad*, 9) diseño de silla de ruedas personalizada, y 10) escalador de poste. En ellos se dan descripciones generales, básicas con requisitos de ingeniería iniciales, que intentar retar y motivar a los lectores para que a través de estas aplicaciones puedan abordar los proyectos de ingeniería según las diferentes ramas de ingeniería y de las áreas del conocimiento.

Este es un libro que pretende que todos los agentes que participan en el proyecto de ingeniería tengan una participación proactiva, buscando resultados individuales y colectivos que sumados trasciendan en beneficios de una formación integral de cada ser, e insistiendo en que la componente práctica debe ser considerada necesaria en el diseño del proyecto para formar profesionales que puedan enfrentaran su quehacer con satisfacción y conocimiento.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ROLADORA DE RODILLOS PARA LÁMINAS

1.1 INTRODUCCIÓN

El rolado es un proceso industrial realizado por máquinas herramientas las cuales por medio de una serie de rodillos que giran y aplican fuerza, deforman plásticamente la materia prima, que puede ser una lámina metálica, un perfil, un tubo, un ángulo, una platina, una placa; y le dan una forma específica, donde la más conocida es la forma cilíndrica.

El proceso de rolado es de uso común en la manufactura de tuberías de acero y con este, se pueden conseguir cilindros de una amplia gama de diámetros con distintos espesores y con las dimensiones que permitan fabricar un producto con las especificaciones requeridas, manteniendo las propiedades del material (Kalpakjian y Schmid, 2002).

Los cilindros que son obtenidos por el proceso de rolado, en su gran mayoría son posteriormente soldados en sus bordes para formar una sección cerrada. Estos cilindros rolados permiten fabricar una gran variedad de productos, que a la vez pueden ser aplicados en: tuberías, tanques para almacenamiento, tanques para compresores, tanques para calderas, recipientes a presión, tanques de agua, tanques de combustible y tanques de gas, entre otros, como se observa en la Figura 1.

a) rolado de tubería

b) rolado de tanque, cerrado posteriormente

c) silos de almacenamiento rolado

d) tanque en acero inoxidable rolado

e) tanque para combustible

f) tanque para agua

g) tanque para gas

h) tanque para alimentos

Figura 1. Productos obtenidos por el proceso de rolado: a) rolado de tubos, b) rolado de tanque, cerrado posteriormente por soldadura, c) silo de almacenamiento, d) tanque en acero inoxidable, e) tanque para almacenamiento de combustible, f) tanque para el almacenamiento de agua en acero inoxidable, g) tanque para el almacenamiento de gas, h) tanque para el almacenamiento de alimentos (Ayala, 2023; CGA, 2023; Yongnuo, 2023)

Para obtener las formas finales de las aplicaciones roladas mostradas en la Figura 1. Se parte de láminas de diferentes materiales y espesores según la norma y diseño especifico, puede fabricarse una forma cilíndrica con el rolado de una lámina completa o para tanques de grandes dimensiones, son rolados los distintos cascos o láminas roladas, que conforman la forma y geometría completa del cilindro a fabricar.

Según las especificaciones de cada tanque y para obtener la forma final, estas láminas roladas son unidas mediante soldadura, atornillados o remachados; posteriormente son recubiertos o pintados según la aplicación; y generalmente poseen algún tipo de apoyo, como por ejemplo: de pies, de faldón, de lengüetas, de vigas, células de carga y de acero estructural.

Las aplicaciones de diseñar y fabricar tanques con láminas roladas son de gran valor en la industria metalmecánica y de aquí la importancia de identificar los equipos que permiten realizar el proceso de rolado. Se centrara este proyecto en el rolado de láminas.

Sin embargo, no solo se hacen tuberías cilíndricas por medio del proceso de rolado también se considera en el proceso de rolado cualquier elemento el cual tenga una curvatura o ángulos, medios círculos, ángulos variables, cilindros elípticos, aplanados y hasta conos truncados son realizables por medio del rolado, lo que hace de este un proceso con una amplia gama de usos, como por ejemplo: pasamanos para niños, *racks* para

bicicletas, mobiliario canino, botes de basura, perfiles en curvados y ángulos específicos, conos, decantadores, canales, elementos de sujeción para tubería, chimeneas, ensambles cilíndricos, entre otros (Kalpakjian y Schmid, 2002).

El proceso de rolado se logra a través de máquinas que de acuerdo a su configuración constructiva permite obtener piezas roladas de variadas dimensiones, tanto en su diámetro, como del espesor del material, siendo principalmente roladas piezas en materiales metálicos, como: hierro, acero al carbono, acero inoxidable, acero estructural, acero galvanizado. Por lo que al material a ser rolado se le debe tener en cuenta su dureza, resistencia, características particulares, y principalmente su espesor.

En la Figura 2, se observa una lámina metálica que está siendo rolada, mediante una máquina de rolado convencional.

Figura 2. Máquina roladora de láminas convencional, para la construcción de tuberías (Metal, 2023)

Una aplicación de gran impacto que tiene el proceso de rolado es que permite la fabricación de las tuberías forzadas para una de las plantas hidroeléctricas más grandes de Colombia y una gran gama de componentes hidromecánicos que hacen parte de centrales hidroeléctricas (ATB, 2023). En la Figura 3, se puede observar las tuberías rigidizadas fabricadas mediante el proceso de rolado para una planta hidroeléctrica.

Figura 3. Aplicación del proceso de rolado en la fabricación de tuberías rigidizadas, reforzadas exteriormente con aros forjados, de la planta hidroeléctrica San Fiorano de ENEL, con un diámetro de 2,15 m (ATB, 2023)

1.2 OBJETIVOS

Es el objetivo general de este proyecto de ingeniería es diseñar y construir una máquina roladora de láminas, con ancho de rolado de la lámina de máximo de 500 mm y para espesor de lámina de máximo 3/16” (0,1875” o 4,7625 mm); además, debe contar con una mesa móvil para ser desplazada con mayor facilidad.

Como objetivos específicos del proyecto, la máquina roladora de láminas debe diseñarse y construirse, considerando como especificaciones iniciales.

- La transmisión de potencia debe de realizarse manualmente.
- Las dimensiones de la máquina deben ser similares a una mesa de escritorio.
- Capacidad de rolar una lámina de 3/16” x 500 mm ancho.
- La máquina debe contener el mayor porcentaje de piezas comerciales, se recomienda un 60% piezas comerciales y 40% de piezas manufacturadas.

1.3 ESTADO DEL ARTE

1.3.1 Proceso de rolado

El rolado al igual que los procesos de curvado consiste en llevar un material a un estado de tensiones el cual lo lleve a sufrir deformaciones en estado plástico; el rolado se basa en la aplicación de momentos flectores sobre el material haciendo uso de unos rodillos por donde pasará el material y le imprimirán dichos esfuerzos (Iza, 2007; Kasanas, 1981; Don-Bosco, 1999; Avner, 1985).

En el rolado se tienen varios tipos de procesos dependiendo del material el cual se va a doblar:

- ***Rolado de planos.*** Consiste en el doblez con radio de una lámina, este es empleado principalmente para obtener tanques, conos, bajantes de canales, entre otros (Iza, 2007).
- ***Rolado de no planos.*** Trata del rolado de materiales tales como perfiles o tuberías, usado para la conformación de arcos, pórticos curvos, y en general muchas aplicaciones arquitectónicas y mecánicas (Iza, 2007).

Las máquinas roladoras pueden ser impulsadas de forma manual o asistida por un motor, un sistema hidráulico o uno neumático. Además, existen las máquinas roladoras de tipo Control Numérico por Computadoras CNC, con las cuales se puede programar todo el proceso de forma automática y evitar la operación e intervención manual.

1.3.2 Subsistemas que conforman una máquina roladora

Para lograr una mayor compresión del funcionamiento general y la configuración de una máquina roladora de láminas se dividió la misma en tres subsistemas, como se observa en la Figura 4; los cuales integran y cumplen las funciones principales que la máquina requiere para poder operar:

- ***Subsistema 1. Rodillos de rolado***. Los rodillos son las piezas que apisonan las láminas para doblarlas, por lo tanto los mismos deben tener mejores propiedades mecánicas que las láminas a ser rolada, existen roladora desde dos hasta cuatro rodillos, y dependiendo del tipo de roladora también será la forma, geometría y dimensiones que tengan los rodillos y los tipos de movimientos que estos realizan.

Las dimensiones de los rodillos son muy variadas, existen roladoras CNC para trabajos pesados con rodillos desde 500 mm de diámetro por 3 m de longitud, hasta máquinas roladoras con rodillos de 16 mm de diámetro por 1,27 m de longitud.

Se identifican principalmente dos formas por las cuales se pueden fabricar los rodillos: 1) macizos, los rodillos macizos, son básicamente ejes macizos, haciendo que estos sean pesados pero mejorando mucho sus propiedades mecánicas y a fatiga; 2) tubos, son rodillos fabricados con un tubo como elemento exterior, con un eje de menor diámetro dentro y en muchas veces solo en sus dos extremos, con lo cual el gasto de material es menor y su costo también disminuye, esta aplicación es usada en aplicaciones de rodillos grandes.

También es importante considerar otras dimensiones para el diseño y fabricación de los rodillos como es la distancia entre centros y las medidas de distanciamiento entre los rodillos con respecto a la lámina a ser rolada.

- ***Subsistema 2.Transmisión de potencia.*** La transmisión es el subsistema encargado de transmitir el movimiento entre el rodillo conductor y el rodillo conducido, para lograr el paso de la lámina a ser rolada y así lograr un rolado

exitoso. Para esto, en la literatura (Iza, 2007; Flores, 1991; Libón, 2018; Ochoa *et al*., 2001; Mejía, 2011) se pueden encontrar a grandes rasgos, tres alternativas aplicables a una máquina roladora: 1) poleas y correas, 2) engranajes y 3) piñones-cadena.

- ***Subsistema 3. Estructura / Cuerpo de la máquina.*** Este subsistema se compone de los mecanismos y estructura que sirven como cuerpo de apoyo al subsistema de los rodillos de rolado, como al subsistema de trasmisión de potencia y además posee una estructura que sirve como base para soportar los dos subsistemas mencionados y permite que algunas máquinas puedan ser desplazadas de forma ágil y fácil.

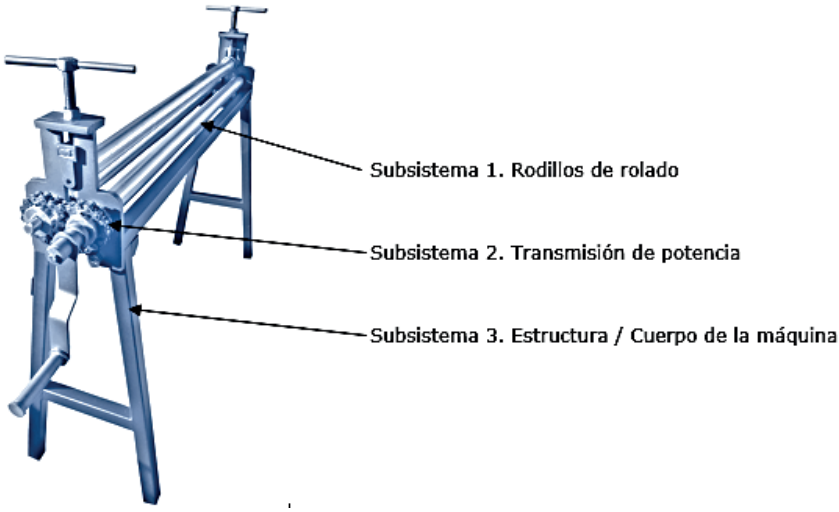


Figura 4. Subsistemas que conforman una máquina roladora de láminas

En la Tabla 1, se realiza un recopilación del estado del arte de algunas máquinas roladoras de láminas, que orientan al diseñador en la fase de diseño conceptual, a partir de las roladoras de láminas comerciales, empleando configuraciones tanto de mecanismo de accionamiento manual o empleando alguna unidad motriz. Siempre es útil realizar este tipo de consultas tanto en el ámbito nacional como internacional.

Tabla1. Estado del arte de máquinas roladora de lámina

Ref. / Descripción / Especificaciones	Representación gráfica
001 (Feysama, 2023) / Cilindradora asimétrica MC manual / Para trabajos de curvado general, especialmente para una capacidad de plegado de hasta 2,0 mm. Con una amplia gama de usos, es especialmente adecuado para los lugares de trabajo pequeños. Fabricante: Feysama Longitud de trabajo: 1050 mm - 2070 mm Grosor curvado: 0,8 mm - 2 mm Diámetro rodillo principal: 46 mm - 76 mm Largo: 1350 mm - 2800 mm, ancho: 300 mm - 750 mm, alto: 280 mm - 1200 mm	
002 (Feysama, 2023) / Cilindradora asimétrica MC motorizada / Para trabajos de curvado general, especialmente para una capacidad de plegado de hasta 2,0 mm. Con una amplia gama de usos, es especialmente adecuado para los lugares de trabajo pequeños. Fabricante: Feysama Longitud de trabajo: 1050 mm - 2070 mm Grosor curvado: 0,8 mm - 2 mm Diámetro rodillo principal: 46 mm - 76 mm Rotaciones: 9 rpm Motor: 0,75 kW Largo: 1350 mm - 2500 mm, ancho: 750 mm, alto: 1200 mm	
003 (Feysama, 2023) / Curvadoras de chapa mecánicas CNC / Fabricante: Feysama Grúa aérea para diámetros grandes. Apoyos laterales hidráulicos para diámetros grandes. Tabla de alimentación de material. Velocidad de rotación variable. Sistema de control CNC. Curvadora simple. Ejes endurecidos	
004 (Feysama, 2023) / Cilindradora asimétrica 3 rodillos FYSM / Máquinas para trabajos ligeros y medianos con su cuerpo fuerte, soldado y motor eléctrico en los rodillos superiores e inferiores. Fabricante: Feysama Ejes de acero certificado con SAE 1050. Reductor de tipo espiral por cadena y correa con accesorios dentados. Rodillos accionados hacia arriba y hacia abajo. Cuerpo de máquina construido de acero ST-52. Motor de rodillo trasero. Precisión de flexión con motor de freno. Rodillo de flexión de cono. Panel de control eléctrico móvil	

005 (Mercadolibre, 2023-1) /
Roladora de lámina manual 4ft calibre 8 /
Rodillo de acero.
Volante de presión del rodillo superior de 1-1/4” de diámetro.
Volante de tracción de 80 cm de longitud.
Base metálica de la roladora.
Sistema de transmisión de cadena.
Chumaceras.
Largo: 165 cm, ancho: 60 cm, alto: 135 cm
Peso: 195 kg

006 (Mercadolibre, 2023-2) /
Roladora de lámina eléctrica 6ft calibre 10 /
Rodillo superior modelo QVN-66K-6-BH-3-M-9.5/38-A8-1987-M, sistema compuesto maquinado.
Rodillos inferiores modelo QVN-50K-6-TB-3-M-5.5/38-A8-2271-M, sistema compuesto maquinado.
Volante de presión del rodillo superior con tornillo de 1-1/4” diámetro.
Base metálica de acero estructural.
Sistema de transmisión con cadena.
Chumaceras en los extremos de las flechas inferiores.
Motor trifásico 220 V, de alta eficiencia, silencioso y bajo ruido.
Variador de frecuencia con alimentación monofásica a 110 V.
Pedales de acción derecha - izquierda para operación de la máquina

007 (Quvana, 2023) /
Roladora de lámina manual 4ft. Calibre 18 /
Roladora de lámina manual de tres rodillos de 4 ft de largo para rolar lámina hasta calibre 18 (1,21 mm) de espesor, rodillos de tubo de 1-1/2”, reforzados con anillos de refuerzo.
Volante de presión del rodillo superior (para radio de rolado).
Volante de tracción de rodillos inferiores (para paso de la lámina).
Base metálica de la roladora desarmable.
Sistema de transmisión

008 (Faccin, 2023) /
Máquina cilindradora de tres rodillos 3HEL /
En los modelos 3HEL los 3 rodillos están motorizados con moto-reductores hidráulicos independientes directamente acoplados en los ejes de los rodillos, un plus importante que asegura la superioridad de estas cilindradoras por par y velocidad de rotación.
Rolado de chapas con longitud de 1500 mm a 4000 mm y espesor comprendido entre 3 mm y 30 mm.
Guías lineales para el movimiento de los rodillos.
Cuatro cojinetes independientes para soporte de los rodillos inferiores.
Sincronización electrónica del paralelismo de los rodillos.
Rodillos templados a inducción y pulidos.
Visualizadores digitales para la posición de los rodillos.
Barrera de emergencia alrededor de la máquina

A pesar de gran variedad de máquinas roladoras de láminas, se pueden descartar en ellas varias características así: 1) diámetro de rolado, 2) ancho de rolado, 3) espesor de la lámina a ser rolada, 4) número de rodillos y su disposición, 5) operación manual o automatizada, 6) aplicación del rolado. Estos elementos permiten clasificar y seleccionar adecuadamente una máquina roladora de láminas, para una capacidad y aplicación particular.

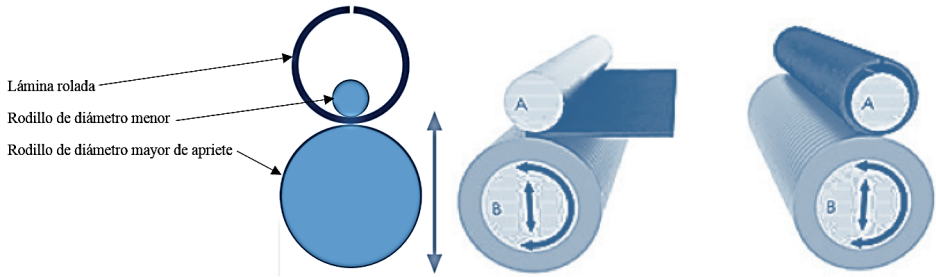
Por otro lado las máquinas roladoras manuales, son empleadas para el rolado de láminas de espesores pequeños, dada que es el operario quien interviene en el proceso de rolado, generalmente también se emplea para el rolado de láminas menos anchas, al igual que un diámetro de rolado pequeño, todo ello en comparación con las máquinas de rolado motorizadas.

1.3.3 Clasificación de máquinas roladoras según número y disposición de rodillos

Una de las principales características de las máquinas roladoras de láminas, es el número de rodillos y su disposición, por ello las máquinas roladoras de láminas se pueden clasificar de diversas formas desde el tipo de rolado que puede ser simple o doble; o por la forma más utilizada de clasificarlas que es por la cantidad de rodillos con la que cuente y su distribución.

A continuación algunos detalles de esta clasificación:

- ***Roladoras de dos rodillos.*** Diseñadas para manejar bajos calibres de láminas, usan un rodillo de apriete que se mueve hacia arriba sobre uno de menor diámetro y luego con un mandril o un tambor se le termina de adaptar la forma cilíndrica, se presenta la roladora de dos rodillos en la Figura 5 (Faccin, 2023).

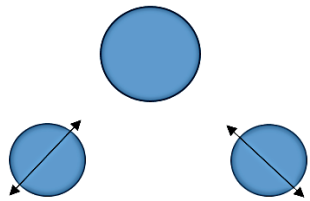
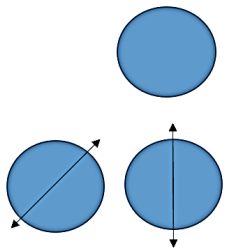
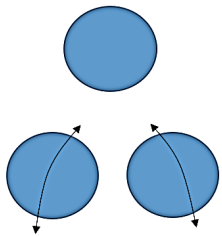


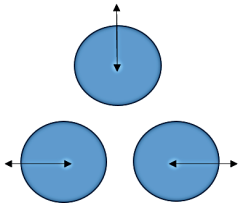
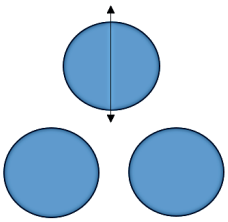
a) b)

Figura 5. Roladora de dos rodillos: a) proporciones de los rodillos, b) proceso de rolado con dos rodillos (Faccin, 2023)

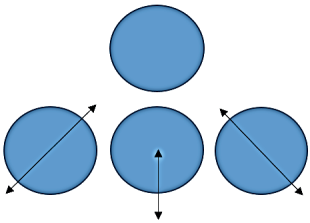
- ***Roladoras de tres rodillos.*** Estas roladoras las podemos clasificar a su vez en cinco tipos: 1) tipo *Pinch*, 2) tipo apriete inicial sencillo, 3) tipo doble apriete, 4) tipo geometría variable y 5) tipo piramidal. En la Tabla 2 se describen estos tipos de roladoras de tres rodillos (Iza, 2007; Montalván y Urbina, 2012).

Tabla 2. Tipos de roladoras de tres rodillos

Tipo / Descripción	Representación gráfica
Tipo *Pinch* / Roladora cuya particularidad es que los centros de los tres rodillos forman un triángulo isósceles, los rodillos son totalmente fijos y los dos rodillos inferiores tienen menor diámetro que el rodillo superior	
Tipo apriete inicial sencillo / Roladora la cual sirve para aplicaciones ligeras y de poca capacidad, cuenta con un rodillo superior fijo y con dos rodillos inferiores que se mueven diferente, unos en forma vertical y el otro en diagonal formando un ángulo de 45° con los ejes horizontal y vertical	
Tipo doble apriete / Estas roladoras tienen los dos rodillos con movimientos y separación con respecto al superior simétrico, gracias a esto se tienen dos puntos que pueden presionar las láminas, estos tienen capacidad de rolar desde cargas ligeras hasta muy pesadas	

Tipo geometría variable / Para aplicaciones sumamente pesadas, los rodillos inferiores se mueven horizontalmente para aumentar la distancia de compensación y dándole ventaja mecánica al rodillo superior el cual se mueve verticalmente, en caso dado, también sirve como una de apriete sencillo	
Tipo piramidal / Dejando fijos los dos rodillos inferiores y el rodillo superior permitiendo moverse verticalmente	

- ***Roladoras de cuatro rodillos.*** La roladoras de cuatro rodillos mediante doble apriete, posee una configuración similar a la de tipo doble apriete de tres rodillos, pero con un rodillo más debajo del rodillo superior, el cual sirve para apretar la lámina durante el rolado, la gran mayoría de roladoras con esta configuración son de tipo CNC, como se representa en la Figura 6.



a)

b)

Figura 6. Roladora de doble apriete de cuatro rodillos: a) roladora de cuatro rodillos, b) proceso de rolado con cuatro rodillos, CNC (Faccin, 2023)

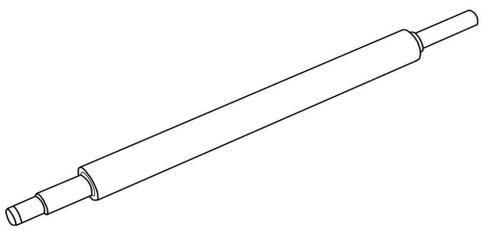
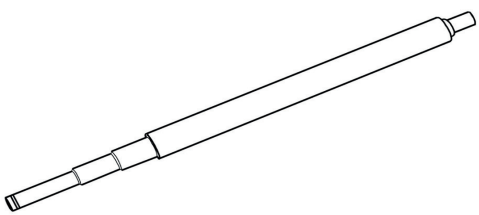
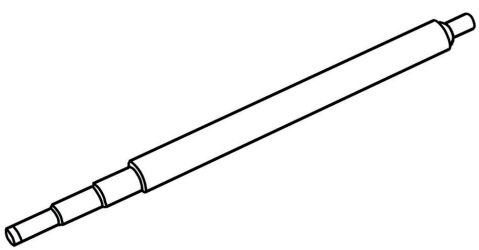
1.4 DISEÑO CONCEPTUAL

1.4.1 Subsistema 1. Rodillos de rolado

Una vez identificadas las características generales del diseño la máquina roladora de láminas, se procede a interpretar el diseño el subsistema 1 de los rodillos de rolado, donde a partir del estudio de estado del arte a juicio de diseño se ha determinado seleccionar para continuar con el proceso de diseño, con una roladora de tres rodillos, ya que esta alternativa de solución satisface los requerimientos iniciales y permite obtener la forma geométrica de la pieza final. Los tres rodillos que conforman este subsistema son: 1) un rodillo superior y, 2) dos rodillos inferiores.

Conceptualmente se cuenta con un subsistema que se integra y conforma por un primer rodillo superior, el cual es el rodillo más influyente, puesto que este aumenta el momento flector ejercido sobre el material a tratar; un segundo rodillo que es el conductor, que tendrá acoplado una manivela para transmitir el movimiento rotacional a la lámina y; un tercer rodillo que es el conducido, que servirá como punto de apoyo para el rolado, en la Tabla 3, se identifican los conceptos de los tres rodillos que hacen parte del subsistema.

Tabla 3. Conceptos del subsistema 1. Rodillos de rolado

Rodillo #	Especificaciones	Concepto del rodillo
1. Rodillo superior	Rodillo superior de longitud aproximada 734 mm, radio aproximado de 100 mm y un peso aproximado de 12 kg	
2. Rodillo conductor	Rodillo conductor de longitud aproximada 800 mm, radio aproximado de 100 mm y un peso aproximado de 13 kg	
3. Rodillo conducido	Rodillo conducido de longitud aproximada 760 mm, radio aproximado de 100 mm y un peso aproximado de 12 kg	

Se recomienda a partir de los estudios realizados (Libón, 2018; Ochoa et al., 2001; Mejía, 2011) que el material para el diseño y la manufactura para todos los rodillos sea, un acero macizo AISI/SAE 1045, teniendo en cuenta sus excelentes propiedades en piezas de gran sección, como lo son la alta resistencia a la fatiga, alta resistencia a la compresión y alta tenacidad. Adicionalmente, como consideraciones para el diseño de los rodillos, se tiene en cuenta lo siguiente.

- Minimizar la longitud de los rodillos para evitar flexión y deformaciones.
- Minimizar el diámetro de los rodillos para maximizar las medidas de rolado.
- Evitar concentradores de esfuerzo en grandes cambios de sección.
- El límite de flexión del material del rodillo debe ser mayor que el de la lámina de rolado.
- Maximizar la vida útil de los rodillos.

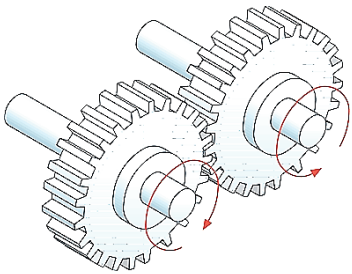
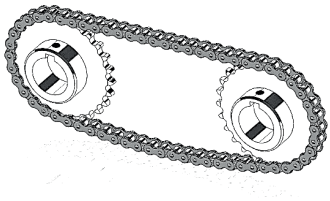
1.4.2 Subsistema 2. Transmisión de potencia

Para el diseño conceptual del subsistema 2, la transmisión de potencia; se realiza la evaluación y la selección de la mejor alternativa, entre las tres alternativas principales, empleadas en las máquinas comerciales y encontradas en el estado del arte; a partir de un análisis ingeniería de las ventajas y desventajas se generara su implementación en la máquina roladora de láminas.

En la Tabla 4, se evalúan los tres conceptos para el subsistema 2.

Tabla 4. Conceptos para la evaluación de alternativas del subsistema 2. Transmisión de potencia (Molina *et al.*, 2022)

Descripción / Representación gráfica	Ventajas	Desventajas
Transmisión por poleas y correas /	Requiere poco mantenimiento, no se necesita lubricación	Requiere de la implementación de un mecanismo tensor, para el buen funcionamiento de la correa
	Operación suave y silenciosa gracias a la elasticidad de las correas	Altos costos asociados a su implementación o reparación. Posiblemente se requeriría fabricar la polea dadas las distancias y dimensionamientos entre los ejes de los rodillos
	Aplicable a grandes distancias entre ejes	
	Carga límite de transmisión que ayuda a evitar posibles daños a otros componentes	Posible carga límite, a partir de la cual, la correa se deslice y no se transmita el movimiento de giro

Transmisión por engranajes / 	Mayores cargas de transmisión en comparación con la alternativa de transmisión por poleas y correas	Requiere mantenimiento y lubricación, además de limpieza para garantizar y minimizar desgaste en los engranajes
		Alto costo para su implementación y reparación, engranajes específicos para la aplicación que requerirán ser fabricados
	No se requiere la implementación de tensores	Mayor peso en comparación con las otras dos alternativas
Trasmisión por cadena / 	Fácil reparación de la cadena en caso de daño, elementos y herramientas comerciales para su ensamble	Es posible que se requiera implementar un mecanismos tensor
	Bajo peso en comparación con las dos alternativas anteriores, sistema simple y compacto	Riesgos de accidente en los operarios
	Permite mayores cargas de transmisión en comparación con la transmisión con correas	
	Bajo costo para su implementación, reparación y recambio, recomendándose elementos comerciales tipo motocicletas de gama baja compuestos por par piñón y cadena	Requiere de mantenimiento y adecuada limpieza para su correcto funcionamiento

Dadas las ventajas que logran identificar en la alternativa de transmisión por cadena para implementar en el accionamiento de los rodillos de la máquina roladora, es seleccionada esta alternativa como la mejor, gracias a su bajo costo, su fácil manipulación con herramientas convencionales y a su facilidad de implementación con componentes comerciales de fácil consecución.

Adicionalmente, se opta por piñones y cadena de una motocicleta de baja gama, debido a que las cargas nominales de este par piñón - cadena soportan con suficiencia las cargas que podrán ser ejercidas manualmente por el operario durante el rolado; por lo que a juicio del ingeniero no serán necesarios realizar cálculos para su diseño; es considerada la implementación con dos piñones de diámetros iguales, debido a que no se requiere un aumento en el torque para el funcionamiento de la máquina, ni en el proceso de rolado.

1.4.3 Subsistema 3. Estructura de la máquina

Para el concepto del subsistema 3. Estructura de la máquina se consideran las siguientes geometrías estructurales principales que integran este subsistema: 1) marco estructural de placas laterales, 2) base estructural y, 3) medio de desplazamiento; estos conforman todo el subsistema 3.

- ***Marco estructural de placas laterales.*** Consiste en una estructura metálica que brinda el soporte y posicionamiento de todos los mecanismos involucrados en la acción de rolado, desde los rodillos ya sean fijos o móviles, hasta los mecanismos de rotación para el rolado de láminas. Esta estructura normalmente se compone de una lámina o platina metálica de acero estructura con perforaciones y ranuras para disponer de los elementos que se soportan en esta. En el concepto se debe contemplar un mecanismo que permita retirar de forma fácil y ágil la lámina rolada, una vez terminado el proceso.
- ***Base estructural.*** Se emplea una estructura metálica tipo mesa, sobre la cual se apoya el marco estructural de placas laterales, esta estructura metálica provee la rigidez requerida para mantener estática la máquina frente a la dinámica de su operación.

Se propone el concepto de emplear estructuras fabricadas a través de perfiles comerciales; tales como, ángulos, perfiles rectangulares o cuadrados; acoplados cada uno de estos perfiles a través de uniones soldadas o pernadas entre sí a los componentes que complementan todo el mecanismo de la roladora.

También se debe considerar en la base estructural de uno o varios perfiles inferiores centrales que conecten los dos laterales de la base estructural respecto al suelo, esto con el fin de garantizar el paralelismo adecuado entre estas dos secciones laterales y evitar la deformación por torsión de uno de los apoyos laterales respecto al otro, o la deformación por la compresión ejercida por los mecanismos de la parte superior de la máquina.

- ***Medio de desplazamiento***. En algunas de las estructuras generales de máquinas roladoras, se evidencia la necesidad de mecanismos móviles basados en ruedas o rodachinas giratorias que permiten el desplazamiento de la estructura en varios sentidos, dotando así a la máquina de una característica que es requerida desde el objetivo del proyecto, facilitando su posicionamiento en el lugar de trabajo y manipulación por parte del operario, en la Figura 7 se observa este concepto.

a) b)

Figura 7. Concepto para el desplazamiento de la estructura de la máquina roladora, por medio de ruedas o rodachinas: a) concepto de ruedas retráctiles laterales, b) concepto de marco inferior con cuatro rodachinas (Google, 2023)

En la Tabla 5, se presentan los requerimientos y características para la evaluación del concepto del subsistema 3. Estructura de la máquina.

Tabla 5. Requerimientos del usuario y características de ingeniería para el subsistema 3 (Molina *et al*., 2022)

Requerimiento del usuario	Característica de ingeniería	Objetivo de diseño	Descripción
Liviana	Peso	Reducir	Emplear materiales de bajo peso
Estructura estable	Fuerza requerida para volcamiento	Aumentar	Diseñar un concepto con una disposición geométrica que minimice un posible volcamiento
	Rigidez estructural	Aumentar	Utilizar materiales rígidos
Móvil	Grados de libertad	Aumentar	Usar mecanismos que faciliten en desplazamiento en el lugar de trabajo
Facilidad de fabricación	Materiales comerciales	Aumentar	Adquirir un buen porcentaje de materiales comerciales
	Costos de los materiales	Reducir	Adquirir materiales de bajo costo
	Maquinabilidad de los materiales	Aumentar	Fabricar con materiales de alta maquinabilidad
Evitar degradación	Materiales anticorrosivos	Aumentar	Utilizar mayormente materiales anticorrosivos o evitar la corrosión empleando medios de protección
Mantenimiento	Ensamble de las componentes	Reducir	En lo posible evitar el uso de elementos redundantes
	Lubricación de fácil acceso	Aumentar	Empleo de herramientas convencionales para el mantenimiento y diseñar pensando en las actividades de mantenimiento
Facilidad de operación	Ergonomía	Aumentar	Diseñar considerando la altura de trabajo del operario
			Relación optima de trabajo entre el hombre y la máquina
Seguridad	Fijación y unión de los mecanismos	Aumentar	Garantizar uniones, fijaciones y acoples seguros para cada tipo de componente
	Superficies seguras	Reducir	Eliminar todo tipo de filos en los materiales y componentes
Bonito	Estética	Adimensional	Acabado final de la máquina, proceso de preparación y pintura

Para poder realizar una evaluación y selección de los conceptos del subsistema 3 estructura de la máquina, mediante las características de ingeniería definidas en la Tabla 5 se define el orden de importancia de estas características de mayor a menor, conocido como ponderación de la importancia de los requerimientos (Pahl y Beitz, 2007); y de esta forma priorizar al momento de iterar las alternativas de solución basadas en el estado del arte, para esto se emplea una matriz de la casa de la calidad (Pahl y Beitz, 2007; Ulrich y

Eppinger, 2013) simplificada en la cual se otorgan valores de 9, 5, 3 y 1; otorgándose el valor de 9 para aquella característica de ingeniería de mayor importancia y el valor de 1 a la característica de ingeniería de menor importancia; desarrollando esta matriz en función del criterio de los diseñadores, siendo así se define el orden de prioridad mostrado en la Tabla 6 para el subsistema 3 estructura de la roladora de láminas.

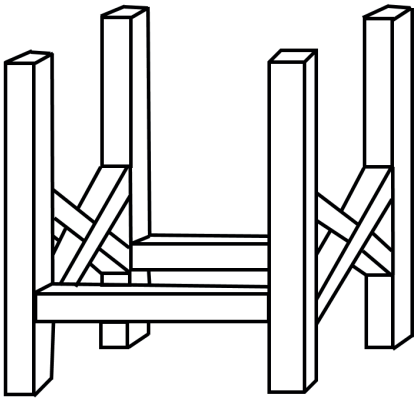
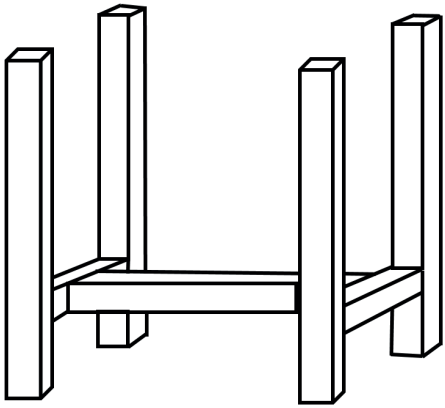
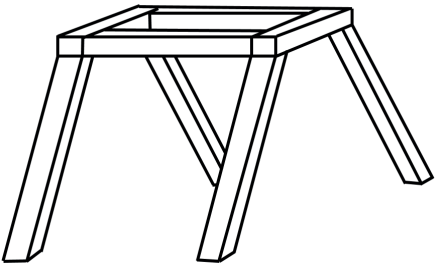
Tabla 6. Ponderación de las características de ingeniería (Molina *et al*., 2022)

Característica de ingeniería	**Puntaje total por característica**	**Porcentaje equivalente de la característica [%]**
Peso	1	1,8
Fuerza requerida para volcamiento	11	20,4
Rigidez estructural	27	50
Grados de libertad	0	0
Materiales comerciales	1	1,8
Costos de los materiales	5	9,3
Maquinabilidad de los materiales	3	5,6
Materiales anticorrosivos	0	0
Ensamble de las componentes	0	0
Lubricación de fácil acceso	0	0
Ergonomía	5	9,3
Fijación y unión de los mecanismos	0	0
Superficies seguras	1	1,8
Estética	0	0
Total	54	100

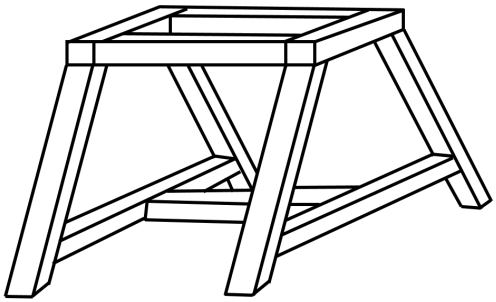
De la ponderación en la Tabla 5 podemos concluir que para el concepto del subsistema 3 la principal característica de ingeniería es la rigidez estructural con 50%, seguida de la fuerza requerida para el volcamiento con 20,4%; en tercer lugar estas las características costos de los materiales y ergonomía con 9,3% cada una; en el cuarto grupo está la característica maquinabilidad de los materiales con 5,6%; en el quinto grupo de importancia están las características peso, materiales comerciales y superficies seguras con 1,8% cada una; y finalmente la menos importantes son las características grados de libertad, materiales anticorrosivos, ensamble de las componentes, lubricación de fácil acceso, y fijación y unión de los mecanismos.

En la Tabla 7, se presentan las alternativas conceptuales que son consideradas en el subsistema 3 y algunos equivalentes encontrados en el estado del arte de equipos comerciales.

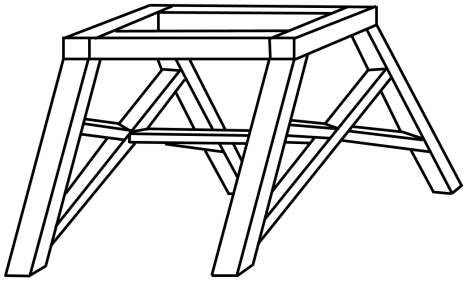
Tabla 7. Alternativas conceptuales para la geometría del subsistema 3 (Feysama, 2023; Mercadolibre, 2023-1; Mercadolibre, 2023-2; Quvana, 2023; Faccin, 2023; Molina *et al.*, 2022)

Descripción / Concepto	Equipo comercial
Concepto 001 / 	
Concepto 002 / 	
Concepto 003 / 	

Concepto 004 /

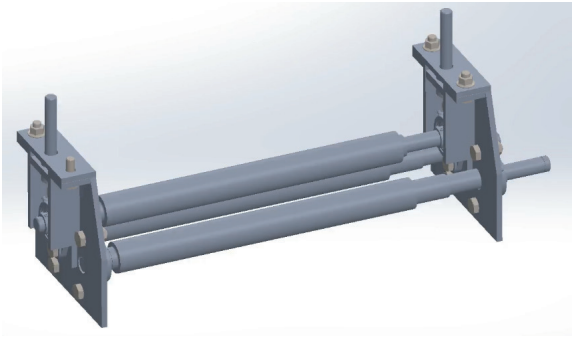


Concepto 005 /

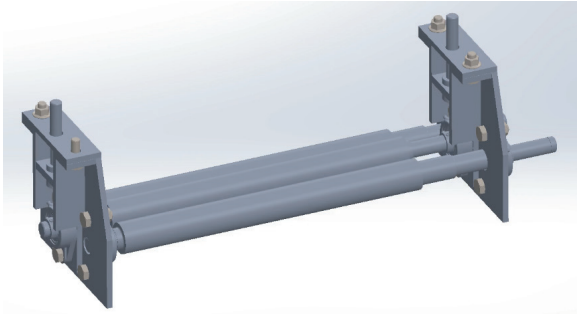


1.4.4 Configuración del concepto final

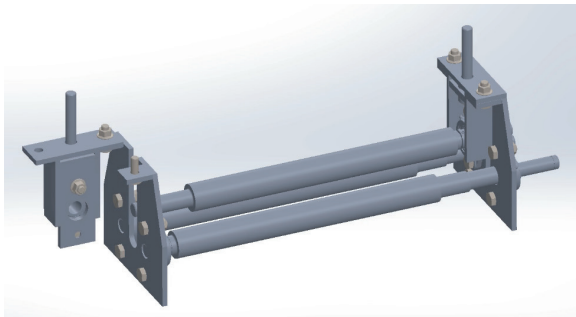
A juicio del ingeniero y empleando métodos de evaluación de alternativas para obtener la mejor alternativa de solución fueron evaluados las propuestas de diseño conceptual de los tres subsistemas, que direccionaron la configuración del concepto final de la máquina roladora de láminas, estas se puede observar en las Figuras 8, 9, 10 y 11.



a)



b)



c)

Figura 8. Diseño conceptual de la secuencia de funcionamiento de los rodillos de rolado: a) rodillo superior arriba, b) rodillo superior abajo, c) apertura de placa lateral para permitir retirar la lámina rolada

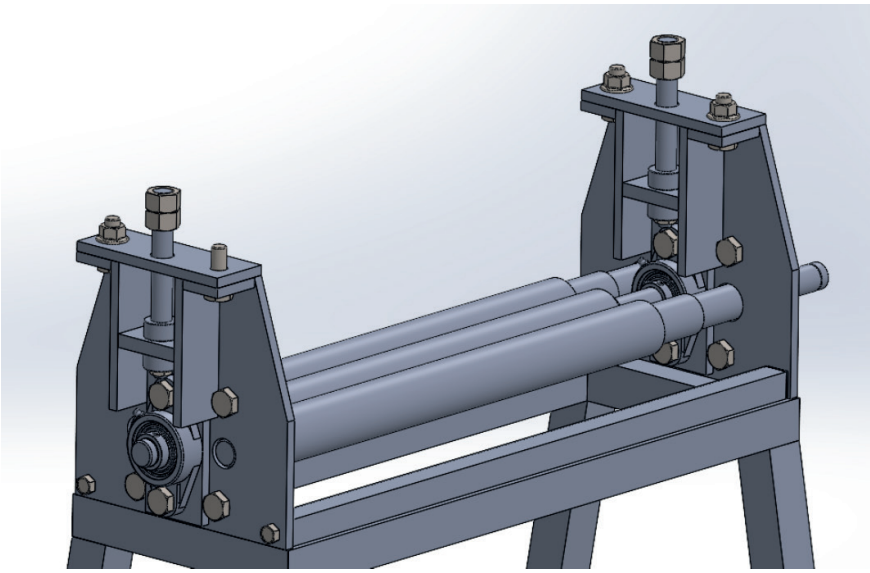


Figura 9. Diseño conceptual del subsistema 1. Rodillos de rolado; y marco estructural de placas laterales, que hacen parte de subsistema 3. Estructura de la máquina

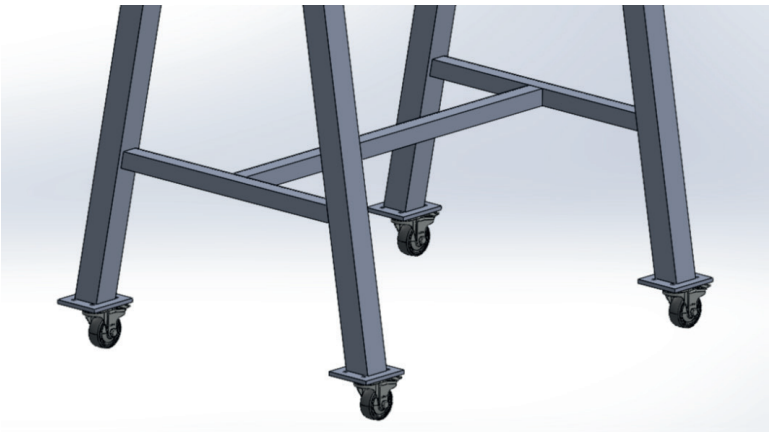


Figura 10. Diseño conceptual del subsistema 3. Estructura de la máquina, con las componentes base estructural y medio de desplazamiento

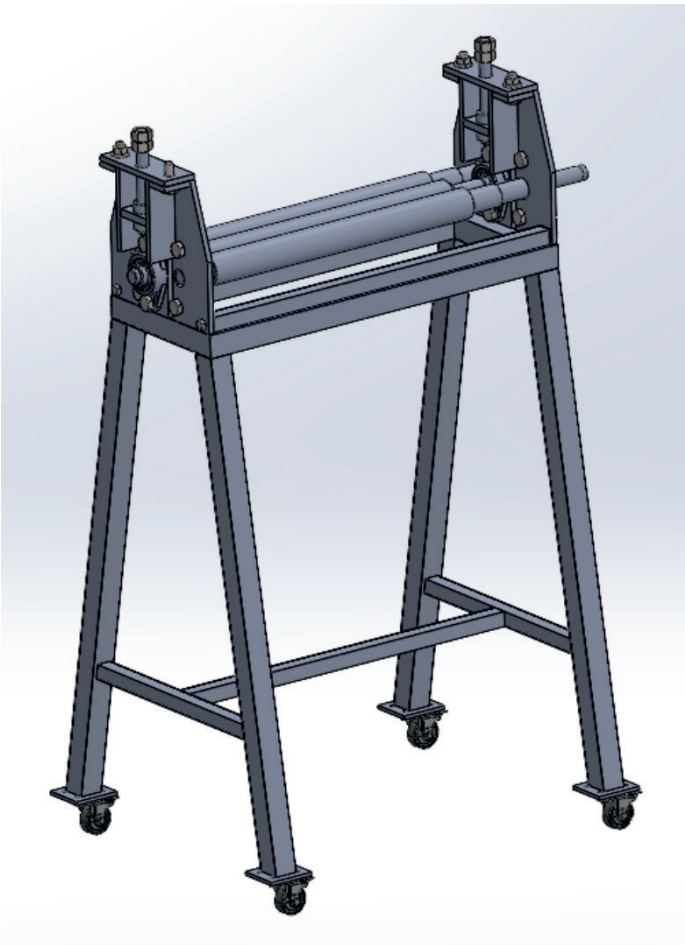


Figura 11. Diseño conceptual de la máquina roladora de láminas

1.5 DISEÑO PRELIMINAR

1.5.1 Cálculos de los rodillos

Los rodillos de rolado serán fabricados en acero AISI/SAE 1045 y estos deben soportar las cargas ejercidas por la lámina a ser rolada, que se considera será de material ss-316. Dado esto, se debe verificar que los rodillos no sufran ningún tipo de falla por rigidez, resistencia, fatiga o deflexión al rolar una lámina ss-316.

Se procede a partir de la ecuación (1) a calcular la carga de diseño, la cual representa la carga máxima que se aplicará sobre los rodillos de rolado.

$$P = \frac{2 * Sy\,(ss - 316) * espesor\ máx^2}{\sqrt{3} * longitud\ máx} \qquad (1)$$

Donde:

$Sy\,(ss - 316) = 250 * 10^6\ [Pa]$

$Sy\,(AISI\ S\ AE\ 1045) = 310 * 10^6\ [Pa]$

$espesor\ máx\,(ss - 316) = 4{,}7625\ [mm]$

$longitud\ máx\,(ss - 316) = 500\ [mm]$

Luego:

$P = 14897\ [N]$

Una vez calculada la carga de diseño, se calcula el momento flector, generado por la lámina a ser rolada, la cual se considera como una viga simplemente apoyada y representada en la Figura 12.

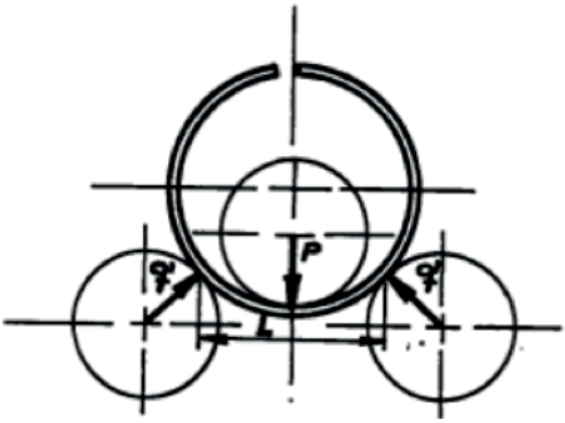


Figura 12. Consideración de las carga de diseño como una viga simplemente apoyada con la carga aplicada en el centro en la representación de los rodillos y la lámina a ser rolada (Arango *et al.*, 1990)

A partir de la ecuación (2), se calcula el momento flector generado por una viga simplemente apoyada.

$$M = \frac{P * L}{4} \qquad (2)$$

Donde:

$P = 14897$ [N]

$L = 500$ [mm]

Luego:

$M = 1862{,}1$ [Nm]

1.5.2 Cálculos de la base de estructura

Se realiza la evaluación a las condiciones estáticas asumiendo la condición crítica de volcamiento de todo el sistema de la máquina de rolado. En este sentido se evalúa la fuerza máxima (F_1 o F_2) que se puede aplicar en sentido horizontal mostrado en la Figura 13, de acuerdo al ángulo de inclinación (θ_1 *o* θ_2) de la patas de la base de la estructura. El escenario más probable que puede generar el volcamiento de la máquina roladora, es cuando se intente empujar la máquina desde un lado y las rodachinas (medio de desplazamiento) estén bloqueadas.

Estudios reportados (Arango *et al.*, 1990) indican que un ser humano puede ejercer una fuerza de empuje equivalente al 80% de su peso. La consideración de diseño de la base de la estructura de la máquina es impedir el volcamiento de la máquina. Para ello se determina un factor de seguridad de 3, este factor de seguridad es considerado debido al peligro que representaría una máquina de aproximadamente 100 kg cayendo de más de 1 m de altura, con estos parámetros se decide tomar una fuerza de 300 N como fuerza límite.

En la Figura 13 a) se encuentra la configuración vertical con un ángulo de 90° entre las patas de la base de la estructura con la placa horizontal superior de la máquina; y en la Figura 13 b) el ángulo entre las patas de la base de la estructura con la placa horizontal superior de la máquina es mayor a 90°, lo que da como resulta una máquina con las patas inclinadas en la base de la estructura.

Se busca calcular si una configuración de la Figura 13 a) es suficiente para impedir el volcamiento de la máquina; o si se hace necesario diseñar la base de la estructura con patas inclinadas similares a la Figura 13 b) para garantizar la estabilidad de la máquina roladora.

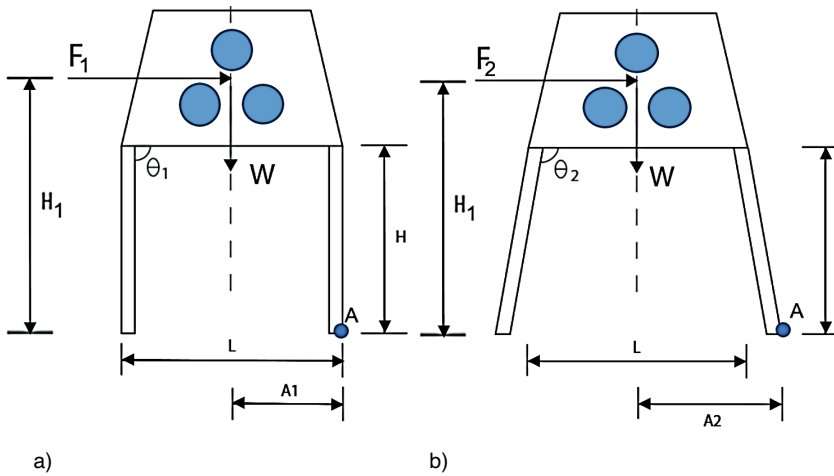


Figura 13. Consideración para impedir el volcamiento de la máquina: a) configuración vertical con un ángulo de 90° entre las patas de la base de la estructura con la placa horizontal superior de la máquina, b) el ángulo entre las patas de la base de la estructura con la placa horizontal superior de la máquina es mayor a 90°

Para un H determinado de 930 mm basado en la altura promedio empleado en las mesas de trabajo en equipos de laboratorios, se evalúan las dos configuraciones geométricas de la base de la estructura, ambas difieren en el ángulo θ que tienen la patas con la placa horizontal.

Los parámetros comunes son: el peso de la máquina que se estima en 100 kg, L midiendo 260 mm y H_1 1080 mm.

Para que la máquina este estable, el momento en el punto A (de la Figura 13) debe ser estrictamente positivo; así que la condición límite cuando empieza el volcamiento de la máquina, se encuentra cuando el momento en el punto A (de la Figura 12) vale 0. La ecuación (3), representa el momento en el punto A.

$$M_A = (m * g * A_1) - (F_{limite} * H_1) = 0 \qquad (3)$$

Donde:

$m = 100\ kg$

$g = 9{,}81\ m/s^2$

$A_1 = {}^{L}/_{2}$

$L = 260\ mm$

$H_1 = 1080\ mm$

Despejando F_{limite} de la ecuación (3), obtenemos la ecuación (4):

$$F_{limite} = \frac{(m * g * A_1)}{H_1} = 0{,}91 * A_1 \qquad (4)$$

Luego: para $\theta_1 = 90°$ y $A_1 = {}^{L}/_{2}$ substituyendo en ecuación (4) tenemos $F_{limite} = 118{,}3\ N$

Este valor calculado de F_{limite} es menor a la Fuerza requerida de 300 N, por lo tanto la configuración representada en la Figura 12 a) no garantiza la estabilidad de la máquina y no impide su volcamiento.

Despejando de la ecuación (4) para la configuración de la Figura 12 b), tenemos que A_2 se puede representar mediante la ecuación (5).

$$A_2 = \frac{F_{limite}}{0{,}91} = 329{,}7\ mm \qquad (5)$$

Mediante trigonometría en la Figura 12 b), se obtiene la ecuación (6).

$$\theta_2 = 90^0 + \tan^{-1}\left(\frac{A_2 - {}^{L}/_{2}}{H}\right) \qquad (6)$$

Con H=930 mm en ecuación (6), se obtiene que = $\theta_2 = 102°$

Luego, para efectos prácticos para el diseño y manufactura de la máquina roladora de láminas, se considera en la Figura 13 b) un valor de $\theta_2 = 105°$ para la base de la estructura.

1.6 DISEÑO DE DETALLE

A continuación en las Figuras 14, 15, 16, se representan los planos de detalle de las componentes más representativas del subsistema 1 rodillos de rolado de la máquina roladora de láminas.

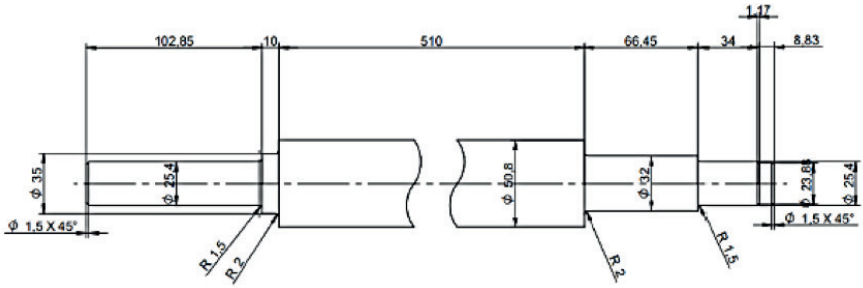


Figura 14. Plano de detalle de rodillo superior, cantidad: 1, material: SAE/AISI 1045, masa: 9,2 kg, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

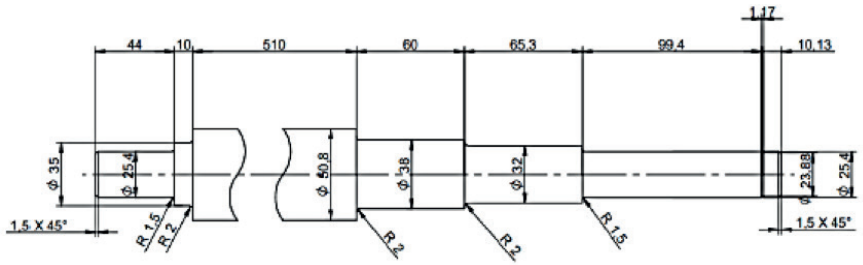


Figura 15. Plano de detalle de rodillo conductor, cantidad: 1, material: SAE/AISI 1045, masa: 9,8 kg, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

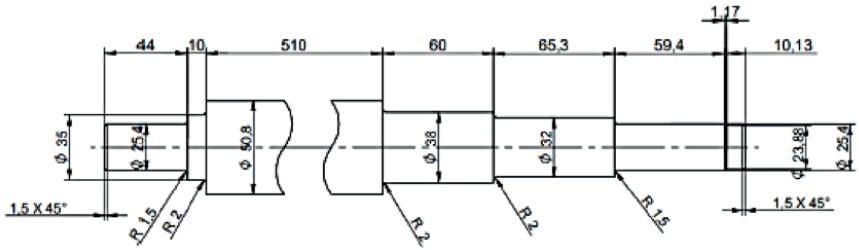


Figura 16. Plano de detalle de rodillo conducido, cantidad: 1, material: SAE/AISI 1045, masa: 9,6 kg, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

En las Figuras 17, 18, se representan los planos de detalle de las componentes del subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales de la máquina roladora de láminas.

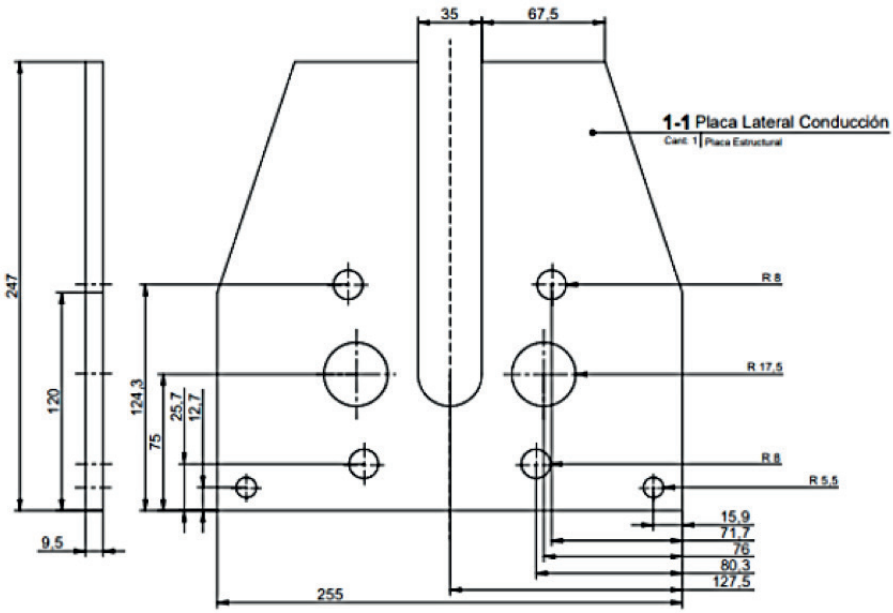


Figura 17. Plano de detalle de placa lateral de conducción, cantidad: 1, material; ASTM A36, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

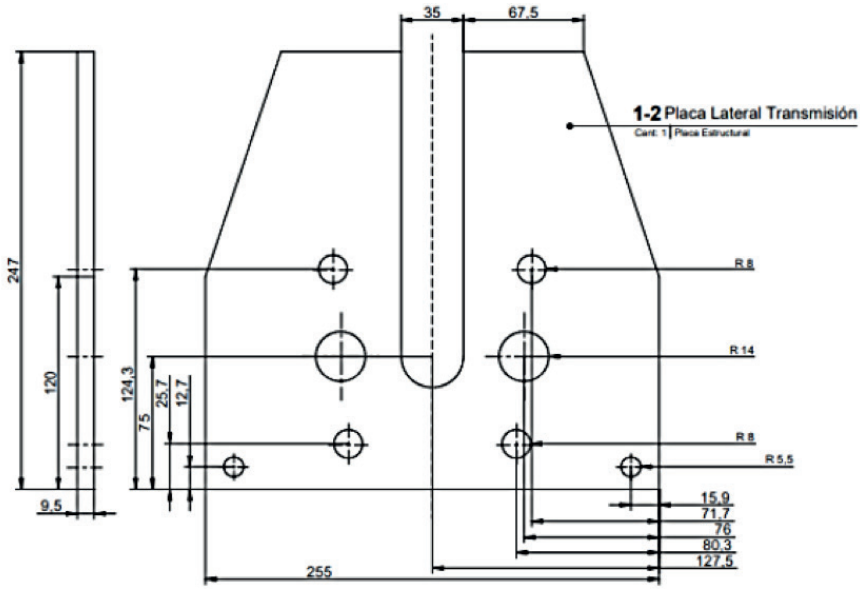


Figura 18. Plano de detalle de placa lateral de transmisión, cantidad: 1, material; ASTM A36, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

En la Figura 19, se observa el carro móvil de la roladora que hace parte del subsistema 3 estructura de la máquina.

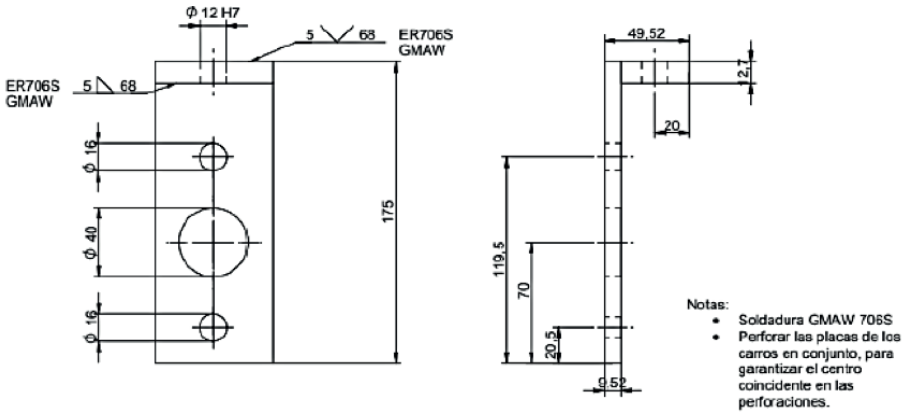


Figura 19. Plano de detalle de carro móvil de la estructura de la máquina, cantidad: 2, material: ASTM A36, especificaciones generales: 175 x 68 x 49,52; unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

En la Figura 20, se representa el plano de detalle de la base de la estructura, que hace parte del subsistema 3 estructura de la máquina.

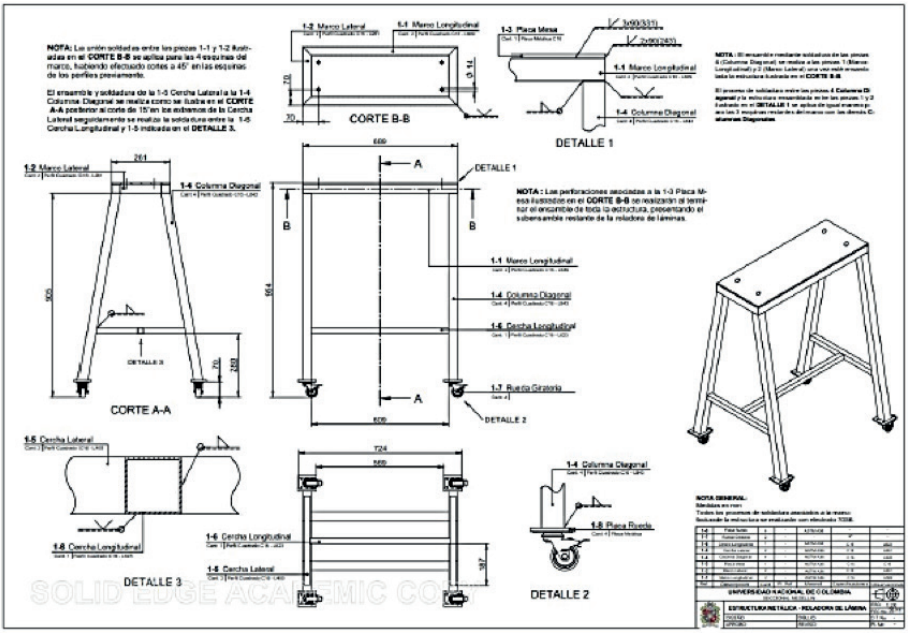


Figura 20. Plano de detalle de base de la estructura, cantidad: 1, material: ASTM A36, unidades en mm (Molina *et al.*, 2022)

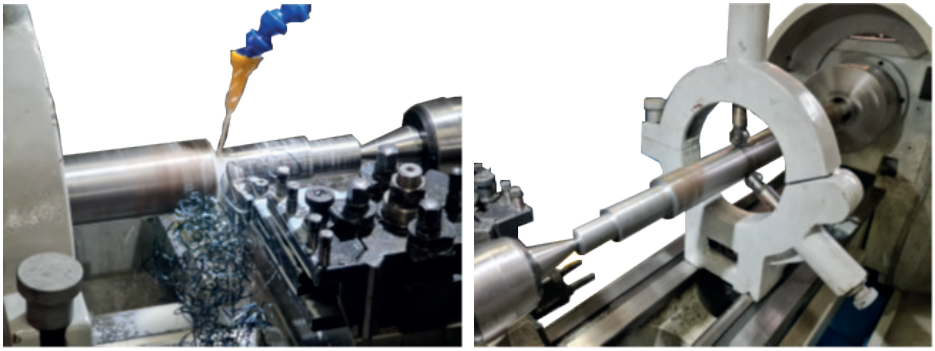
1.7 MATERIALIZACIÓN DEL SISTEMA. MANUFACTURA Y ENSAMBLE

1.7.1 Subsistema 1. Rodillos de rolado

La materia prima empleada para la fabricación de los tres rodillos es SAE/AISI 1045, dadas sus propiedades mecánicas y considerando las condiciones de operación a la cual están sometidos los rodillos (Libón, 2018; Ochoa *et al.*, 2001; Mejía, 2011), para la manufactura se requieren tres barras de acero de 800 mm de longitud y 2” de diámetro. En la Figura 21, se observa el estado de entrega del material para los rodillos.

Figura 21. Barras de acero SAE/AISI 1045, para la fabricación de los tres rodillos

Es llevado a cabo el proceso de torneado a los rodillos ver Figura 22, para obtener las dimensiones diametrales y longitudinales propuestas en el diseño de detalle (ver Figuras 14, 15 y 16), se tornearon los ejes (barra de acero) donde el primer paso consistió en realizar refrentado y centro punteado a una de las cara de cada eje para tener una referencia, luego se procedió al torneado de cada una de las secciones utilizando buriles con pastilla de tungsteno para aproximarse a las dimensiones esperadas y las últimas pasadas de cada sección se realizaron utilizando un buril de HSS con un redondeo de 2 mm en la punta para lograr los redondeos en los cambios de sección; así mismo las últimas pasadas se realizaron con una baja velocidad de avance para lograr un mejor acabado superficial.



a) b)

Figura 22. Proceso de torneado de los rodillos de rolado de la máquina. a) cilindrado de rodillo, b) etapa final del proceso de torneado del rodillo

Ya que la función principal de los rodillos es deformar plásticamente las láminas, es necesario que estos cuenten con una dureza elevada, por lo cual se procedió a realizar un tratamiento térmico que permitiera elevar la dureza superficial a un valor aproximado de 50 HRC (Libón, 2018; Ochoa *et al*., 2001; Mejía, 2011), el tratamiento térmico realizado para alcanzar ese nivel de dureza requerido fue una cementación, con la cual se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del tratamiento térmico de cementación

Descripción	**Rodillos (o ejes de la roladora)**			
Cantidad certificada	3 unidades			
Escala de medición	HRC			
		Dureza superficial		
Muestra #	**Tamaño de muestra**	**Referencia**	**Especificación [HRC]**	**Medición [HRC]**
1	3 de 3	Acero 1045	50-52	51-53
Deformación	0,4 mm			
Profundidad de capa cementada	1,2 mm			

En la Figura 23, se pueden observar el estado final de los tres rodillos después del tratamiento térmico de cementación.

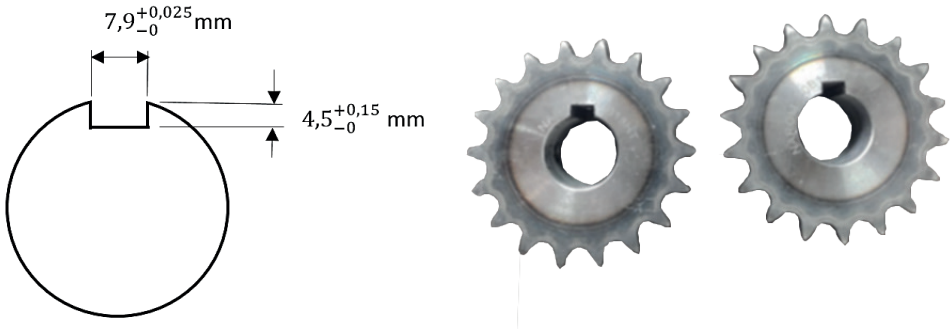
Figura 23. Estado final de los rodillos con el tratamiento térmico de cementación

1.7.2 Subsistema 2. Transmisión de potencia

Los materiales que conforman el subsistema 2, consistieron en la compra de las siguientes componentes comerciales: dos piñones (*sprockets*), cadena para la transmisión, *circlips* (anillos de seguridad), y chavetas para la fijación y garantizar la transmisión de potencia entre las piezas. También es requerida una manivela que es fabricada por el proceso de fundición.

Al agujero que conecta los piñones para el acople con los rodillos, es necesario manufacturarlo con una dimensión del agujero de diámetro 1”, por lo que son empleados los procesos de torneado y taladrado, y así aumentar el tamaño de los agujeros de los piñones para que cumplan con las especificaciones de diseño.

Para conectar los rodillos con el subsistema de transmisión de potencia se utilizaron chavetas, por lo cual fue necesaria la fabricación de chaveteros (o cuñeros) en los rodillos y en los piñones con las dimensiones especificadas, los cuales se realizaron utilizando el proceso de fresado. En la Figura 24 se observan los chaveteros en los rodillos y los piñones.



a) b)

Figura 24. Dimensiones de chaveteros: a) dimensión de chavetero en los rodillos, b) piñones con chavetero

La manivela con la que se genera y trasmite el movimiento giratorio a los rodillos no se logra adquirir de forma comercial; por lo que es fabricada en aluminio mediante el proceso de fundición por arena, ya que esta se requería con las especificaciones particulares para acoplarse al extremo del rodillo conductor. Adicionalmente, también para la manivela se requiere fabricar el chaveteros para garantizar el acople con el rodillo.

1.7.3 Subsistema 3. Estructura de la máquina

- **Marco estructural de placas laterales.** La materia prima empleada para la fabricación del marco estructural de placas laterales es una lámina de espesor ⅜” de acero estructural A36, luego de las respectivas mediciones y marcaciones de los sesiones requeridas, se realizó el corte de las láminas y piezas de la estructura por medio del proceso de oxicorte, por lo que las medidas después de este proceso fueron aproximadas, para posteriormente ser rectificadas con la fresadora para obtener las dimensiones requeridas.

El proceso de fresado del marco estructural de placas laterales, consistió en que ya teniendo las piezas cortadas y con las medidas extraídas de los modelos CAD de la estructura, se procedió a terminar las piezas rectificando la planitud de todas las caras y el paralelismo o perpendicularidad entre ellas.

Para las dos piezas centrales de la estructura de placas laterales, que es la pieza de mayor dimensión, solo se perfilaron las caras paralelas y perpendiculares, debido a que la misma no posee una geometría completamente rectangular; mientras que las dos caras inclinadas se dejaron sin maquinar; ya con varias caras rectificadas se procedió a realizar las perforaciones y la ranura a las placas laterales, las cuales se manufacturaron de forma progresiva aumentando el diámetro de la herramienta y finalmente usando una alesadora para dar el diámetro final de las perforaciones de 35 mm, la ranura se terminó

haciendo varios pasos rectos con una herramienta de carburo de tungsteno para agilizar dicha operación.

También se llevaron a cabo sobre la estructural de placas laterales varias perforaciones las cuales permiten unir las chumaceras a la estructural de placas laterales por medio de pernos, estas perforaciones no requerían de tanta precisión, por lo que se utilizó un taladro magnético el cual permitía hacer las perforaciones de forma más rápida.

El proceso de soldadura del marco estructural de placas laterales estructura, se realizó mediante el uso de la soldadura GMAW, inicialmente se llevó a cabo la unión soldada de las piezas en las esquinas, para llevar a cabo el punteo de la soldadura se debió ensamblar toda la máquina para garantizar la concentricidad de varias perforaciones, luego se aislaron las piezas punteadas y se finalizó la soldadura en posición plana.

- ***Base estructural.*** Con base en el diseño de detalle de la base de la estructura (ver Figura 20) se determinan los materiales comerciales a comprar para iniciar la manufactura, los cuales son perfiles tubulares cuadrados de calibre 14, en la Tabla 9 se consignan los materiales comerciales con sus respectivas longitudes y calibres.

Tabla 9. Lista de materiales para la fabricación de la base de la estructura

Descripción	Tipo de perfil	Dimensiones [pulgadas]	Calibre	Longitud [mm]	Cantidad	Longitud Total [mm]	Longitud total por tipo de perfil [mm]
Columna diagonal	Tubular cuadrado	1½” x 1½”	14	850	4	3400	5300
Marco superior longitudinal	Tubular cuadrado	1½” x 1½”	14	690	2	1380	
Marco superior lateral	Tubular cuadrado	1½” x 1½”	14	260	2	520	
Longitudinal inferior	Tubular cuadrado	1” x 1”	14	610	1	610	1410
Lateral inferior	Tubular cuadrado	1” x 1”	14	400	2	800	

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 9, se requiere una longitud total de 6710 mm para la manufactura de la base de la estructura, siendo 5300 mm de perfil tubular cuadrado de 1½” x 1½” y 1410 mm de perfil tubular cuadrado de 1” x 1”.

Complementariamente a la base estructural se le adicionan los medio de desplazamiento, que consisten en cuatro rodachinas, dos ruedas giratorias de dirección fija y dos ruedas giratorias de dirección libres, cada una de ellas con sistema de freno independiente.

Para el proceso de manufactura de la base estructural se emplearon los perfiles tubulares cuadrados, los cuales fueron cortados mediante disco de corte y posteriormente soldados por el método GMAW. La primera etapa del corte de la base estructural fue parte cuadrada superior, sirviendo esta de apoyo para el resto de la base de la estructura conformada por las cuatro patas principales. En total se realizaron ocho cortes de perfiles a 45° y cuatro cortes de perfiles a 15°. Es importante durante el proceso de fabricación estar siempre verificando las medidas desde el corte de cada uno de los perfiles y después del proceso de la aplicación de la soldadura, para que en caso de ser necesario realizar los ajustes respectivos o realizar la reparación pertinente.

En la Figura 25, se evidencia el proceso de manufactura de la estructura de la máquina.

a) b)

Figura 25. Manufactura de la estructura de la máquina: a) corte de material de la base de la estructura, b) componentes que conforman la base de la estructura y placas laterales que hace parte del marco estructural de placas laterales

Para la soldadura de la base de la estructura, primero se realiza la soldadura del rectángulo superior el cual se realiza sin ningún inconveniente y de forma fácil, posteriormente se puntean con soldadura las patas de la base de la estructura con facilidad, debido a calor generado por la soldadura se hace necesario colocar una pieza provisional que una las patas por pares y de esta forma si poder realizar la soldadura de las patas al rectángulo superior de la base de la estructura. En la Figura 26, se observa el proceso de soldadura implementado en la obtención de la base de la estructura.

a) b)

Figura 26. Primera parte proceso de soldadura de la base de la estructura: a) rectángulo superior y patas punteadas con soldadura, b) patas con pieza provisional para realizar proceso de soldadura completo

Finalmente la base de la estructura es reforzada, mediante el empleo de un perfil tubular cuadrado que une cada uno de los pares laterales de la patas y posteriormente se une estos últimos perfiles con otro perfil tubular cuadrado, reforzándose así toda la base de la estructura, el paso siguiente fue la soldadura de una placa metálica encima del rectángulo superior de la base de la estructura y también la soldadura de cuatro platinas debajo de cada pata donde se unirán por medio de tornillos las ruedas a las platinas. Obteniendo la forma final, según el concepto de diseño proyectado. En la Figura 27 se observa el proceso para obtener la forma final de la base de la estructura.

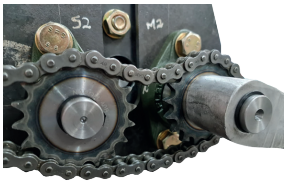
a) b)

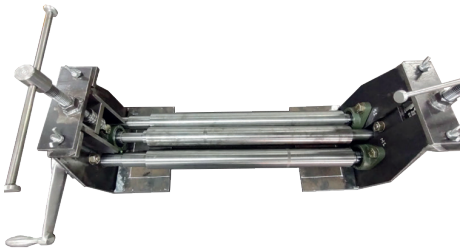
Figura 27. Base de la estructura de la máquina: a) soldadura de elementos de refuerzo laterales, b) soldadura de refuerzo central y platinas para fijar las rodachinas

1.8 ESTADO FINAL DE MÁQUINA ROLADORA DE LÁMINAS

Se presenta en la Tabla 10 algunas de las evidencias del proceso de materialización de la máquina roladora, con detalles de las etapas de la manufactura de los tres subsistemas que la conforman.

Tabla 10. Materialización de la máquina roladora de láminas

Descripción general	Evidencia fotográfica
Subsistema 1. Rodillos de rolado: manufactura de un rodillo superior y de dos rodillos inferiores	
Vista lateral subsistema 2. Transmisión de potencia: dos piñones (*sprockets*), cadena de transmisión, *circlips* (anillos de seguridad), chavetas y manivela	
Vista frontal subsistema 2. Transmisión de potencia: dos piñones (*sprockets*), cadena de transmisión, anillos de seguridad, chavetas y manivela	
Un lado del subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales: placa lateral principal, chumaceras de pared de los rodillos inferiores, tornillo de potencia con manivela	
Lado opuesto del subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales: placa lateral principal, chumaceras de pared del rodillo superior, tornillo de potencia con manivela, detalles del mecanismo que permite retirar de forma fácil y ágil la lámina rolada	

Vista lateral del subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales: placa lateral principal, chumaceras de pared de los dos rodillos inferiores, tornillo de potencia con manivela, mecanismo que permite retirar de forma fácil y ágil la lámina rolada. Lado opuesto al subsistema 2. Transmisión de potencia	
Subsistema 1. Rodillos de rolado, subsistema 2. Transmisión de potencia y subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales con ambos lados, proceso de ensamble	
Vista superior de subsistema 1. Rodillos de rolado, y subsistema 3. Estructura de la máquina, marco estructural de placas laterales	

En las Figuras 28, 29, se observan fotografías del ensamble final con pruebas de rolado, mediante la máquina roladora de láminas. Propuesta de solución que funciono cumpliendo su función objetivo y las especificaciones de diseño proyectadas.

Figura 28. Diseño y construcción de máquina roladora de rodillos para láminas, prueba de rolado y ensamble previo de la máquina. Vista lateral inclinada

Figura 29. Vista de frente de máquina roladora de rodillos para láminas, ensamble de prueba final y prueba de rolado de lámina plana

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOBLADORA PARA PERFILES METÁLICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un proyecto de ingeniería, que incluya todas sus fases de diseño entre ellas la planeación, ejecución y control del proyecto, aporta sustancialmente en la formación de estudiantes de ingeniería e ingenieros; pero este ejercicio tiene más impacto si a través de los proyectos se llega a las últimas fases de diseño de detalle y construcción, ya que con ellas se logra garantizar su fabricación y validar el dimensionamiento adecuado del producto final y la capacidad requerida de acuerdo con las necesidades proyectadas para el cliente; lo cual asegura que la solución implementada cumpla con las especificaciones y características y permita finalmente aportar en los procesos productivos y en el mejoramiento de la calidad de vida.

Se ha podido evidenciar con el transcurrir de la existencia que en el ser humano, siempre ha estado latente la búsqueda de mejoramiento de vida y para ello modifica, crea y adapta su entorno y sus elementos para dar solución a sus necesidades. Y para lograr esto ha tenido que fabricar utensilios, equipos, herramientas y máquinas que le faciliten las tareas diarias y le permitan transformar lo que le rodea y poder vivir con calidad en un mundo en constantes cambios.

El ingenio, la curiosidad y el conocimiento humano han permitido realizar proyectos de ingeniería de grandes beneficios, diseñando dispositivos y mecanismos que han solucionado problemas cotidianos y muchos de ellos complejos, logrando con éxito una transformación acelerada en casi todos los campos de acción.

Siempre la labor ingenieril debe tener como misión social proveer alternativas de solución viables a las distintas necesidades, buscando la optimización y eficiencia de los recursos: naturales, materiales, humanos y financieros con los que dispone. Son muchas las situaciones en talleres industriales y empresas de metalmecánica donde no se cuentan con las herramientas y los recursos para realizar trabajos repetitivos y forzosos. Debe ser prioritaria desde el rol de la labor ingenieril aprender a ser observadores técnicos a estas realidades y por medio de propuestas de solución con equipos y máquinas nuevas dar respuestas oportunas y positivas a lo tantos tareas que aún se realizar de forma artesanal, requiriendo tecnificarse en beneficios de todos.

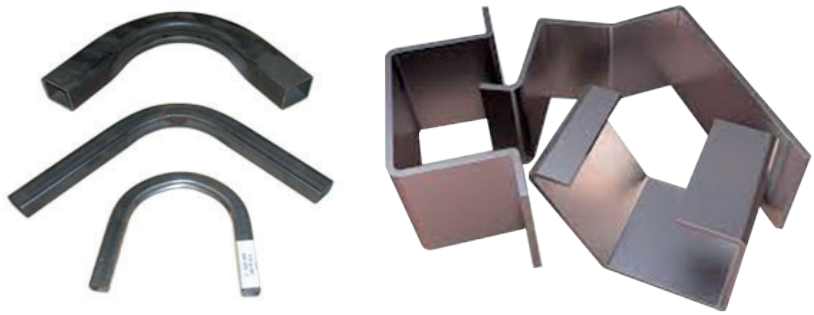
Un proceso de gran aporte en la industria es el doblado de perfiles metálicos, que de forma muy básica consiste en la deformación del material hasta obtener una curvatura o doblez deseado; esta actividad podría decirse puede realizarse usando herramientas de mano, acompaño de esfuerzo físico; y está bien si la tarea consiste en doblar un solo perfil, pero si se requieren fabricar muchos doblez en perfiles, es decir fabricar en serie, es necesario contar con una máquina que ayude a realizar la tarea, minimizando los tiempos

de fabricación, disminuyendo los esfuerzos humanos, bajando los costos de manufactura, entre otros beneficios.

Mediante el doblado de perfiles metálicos se logran obtener una gran variedad de elementos y productos que son parte de otras componentes y mecanismos que dan respuesta a múltiples necesidades, como por ejemplo: la realización de cabinas de máquinas industriales, tales como tractores, máquinas de explanación, funiculares, coches eléctricos; fabricación de maquinaria agrícola e industrial; aparatos médicos; maquinarias *fitness*; instalaciones industriales; productos para iluminación; carpintería metálica. Una aplicación donde podemos observar piezas que son obtenidas por el proceso de doblado de perfiles es el interior de un vagón de tren o en el equipamiento de autobuses, metros o tranvías, allí encontramos barandillas, apoyabrazos en acero inoxidable o perfiles de aluminio, que forman el marco de las ventanillas, todas esta piezas son fabricados mediante el proceso de doblado de perfiles, como se puede observar en la Figura 30.

Figura 30. Interior del vagón de un tren, con elementos de perfiles doblados (Tecnocurve, 2023)

En el proceso de doblado de perfiles, se pueden doblar perfiles redondos, como se observa en la Figura 30; como también se pueden doblar perfiles de tubería cuadrada, tubería rectangular, platinas planas, en materiales como acero inoxidable, aluminio, hierro, como se puede observar en la Figura 31, que son útiles para la fabricación de asientos para consultas de dentistas, carros médicos, carros para residuos, camas de hospital, lámparas para el sector médico, balanzas, dispositivos para enfermos hospitalizados y desplazamiento de pacientes, plataformas de elevación, salva escaleras, plataformas salva escaleras, entre muchas otras.



a) b)

Figura 31. Perfiles doblados: a) tuberías cuadradas y rectangulares dobladas, b) platinas de acero de 3” de ancho por ¼” de espesor dobladas (Tecnocurve, 2023)

Los usos de perfiles doblados es muy amplia, ya que pueden emplearse en muchas y diferentes categorías de instalaciones industriales como por ejemplo: sistemas alimentarios, instalaciones industriales para almacenamiento y dosificación de los polvos, transportes neumáticos, sistemas de calefacción, instalaciones químicas, centrales de energía, plantas farmacéuticas, lámparas: de techo, de suelo, de sobremesa, colgantes; decoración, alumbrado público, alumbrado de áreas externas, tractores agrícolas, máquinas de explanación, carretillas elevadoras, barredoras, coches eléctricos, funiculares y muchas otras.

Entre los sectores que más hacen uso de los perfiles doblados, podemos resaltar: explotaciones ganaderas, ferroviario, embalajes, atracciones, naval, barredoras, almacenes automatizados, sector mobiliario, entre otros.

Es decir, que los perfiles doblados tienen gran valor dado su amplio uso para la fabricación de muchos elementos que aportan en la construcción de muchos componentes y sistemas, y de aquí la importancia de los equipos y maquinaria que logra obtener estas formas estructurales.

Posteriormente se avanzará en la temática de la maquinaría empleada para fabricar los perfiles doblados y en el objetivo de manufacturar una máquina que permita realizar esta función.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general del proyecto

Diseñar y construir una máquina dobladora para perfiles metálicos, principalmente para materiales como acero inoxidable y hierro, que permita el doblez de tubería redonda, tubería cuadrada, tubería rectangular y platinas planas, mediante el accionamiento manual; y que pueda adaptarse a una máquina fresadora universal, la cual servirá como mesa de trabajo.

2.2.2 Objetivos específicos del proyecto

- Implementar las metodologías de diseño apropiadas de diseño básico y diseño conceptual para proponer diferentes alternativas de solución de máquinas dedicadas al doblado de perfiles metálicos.
- Determinar el diseño de detalle para la construcción de una máquina dobladora seleccionada buscando un bajo costo, una buena calidad y una alta eficiencia. Esto incluye determinar las especificaciones técnicas que tendrá el prototipo de la máquina.
- Construir la máquina dobladora de perfiles metálicos, implementado las técnicas de fabricación más adecuadas para la manufactura de cada uno de los elementos que conforman los subsistemas y el sistema.
- Cuantificar los costos asociados al proyecto, en cuanto a materia prima y procesos de manufactura.

2.3 EQUIPOS EXISTENTES EN LA INDUSTRIA

En la Tabla 11, se pueden observar algunas referencias de máquinas dobladoras para perfiles metálicos, empleados en la industria y sus especificaciones básicas.

Tabla 11. Especificaciones básicas de máquinas dobladoras de perfiles (Faccin, 2023; Nargesa, 2023; Mercadolibre, 2023-3)

Referencia / Descripción / Fabricante / Especificaciones	Esquema gráfico
001 / Curva-perfiles RCMI / Faccin / Las curvadoras de perfiles diseñada por Faccin específicamente para curvar perfiles con alta resistencia a la flexión. Las curvadoras de perfiles de la gama RCMI presentan una sólida estructura, generosamente dimensionada y son capaces de garantizar la máxima fiabilidad y precisión de curvado en el tiempo. Esa estructura está hecha con chapas de gran espesor de acero de calidad certificada y está electro soldada y tratada térmicamente para eliminar tensiones internas residuales	

002 / Curva-perfiles Taurus /
Faccin / Las curvadoras de perfiles de geometría variable diseñada por Faccin con diseño especial de 3 rodillos motorizados independientemente. Son ideales para doblar perfiles pequeños y también para la calderería pesada hasta 17000 cm^3 de capacidad.
Los perfiles curvados con las máquinas de la serie Taurus son ampliamente utilizados en la construcción de edificaciones como puentes, estadios, aeropuertos y estructuras metálicas en general

003 / Curvadora de tubos y perfiles CT35 / Metal *Tools* S.A. / Máquina fabricada en acero de alta resistencia, soldado, mecanizado, rectificado y pintado. Tracción simultánea a los tres rodillos por medio de piñones templados capaces de soportar altos torques. Ejes de acero de alta tenacidad templados y rectificados, montados sobre doble rodamiento, manteniendo el paralelismo y de esta manera obtener curvas mucho más perfectas.
Eficiente sistema de regulación de curvado independiente con los rodillos inferiores, permitiendo realizar curvas con diámetros muy pequeños. *Set* de 9 rodillos estándar que se pueden combinar para curvar diferentes tipos de perfiles

004 / Dobladora de tubo series BB / Metal *Tools* S.A. / Máquina curvadora compacta y sencilla. De control ágil a través de microprocesador que permite la programación de una curva por programa. Apriete manual del tubo a través de volante

005 / Dobladora de tubo series PBM / Metal *Tools* S.A. / Las dobladoras de tubos PBM de mandril interno, es una excelente versión para trabajos de doblez, con una precisión absoluta en el eje de curvatura, topes mecánicos para el avance y el cambio de plano

006 / Curvadora de Tubos y Perfiles MC400 / Nargesa / fabricada en acero, arrastre a los tres rodillos, transmisión por piñones, ejes templados y rectificados. Capacidad máxima de curvado en tubo redondo: 2-1/2” o 63,5 mm. Ideal para fabricar bridas, invernaderos, barandas, mesas, sillas, puertas, ventanas; realizando una infinidad de figuras circulares en todo tipo de perfiles. Su robustez, diámetro de eje, la capacidad reductora y más propiedades la convierten en una de las mejores curvadoras del mercado en la categoría de arrastre a tres rodillos, condición indispensable para trabajar el tubo hueco con un perfecto acabado

007 / Dobladora curvadora de tubo redondo hidráulica 12 Ton / D&Mtools / Dobladora de tubo de 12 toneladas
Marca : D&Mtools
Referencia : DM-T12
Tamaño de los dados: 1/2”, 3/4”, 1”, 1-1/4”, 1-1/2”, 2”. Medidas en milímetros: 13; 19; 25,4; 31,75; 38; 50,8; 63,5; 76,2 mm. Peso : 58 kg
D&Mtools empresa 100% colombiana

008 / Dobladora de tubos manual, diámetros de 3/8” hasta 1” / Hermafil / Doblado de tubos a 180° con un solo movimiento.
Capacidad diámetro desde 3/8” hasta 1”.
Incluye un juego de dados de 3/4”.
Portátil y fácil de usar.
Robusta estructura para trabajo pesado

009 / Dobladora de tubos manual, diámetros desde 1/4” hasta 5/8” / Hermafil / Doblado de tubos a 180° con un solo movimiento.
Capacidad diámetro desde 1/4” hasta 5/8”.
Incluye juegos de dados de 1/4”, 5/16”, 3/8”, 1/2” y 5/8”.
Portátil y fácil de usar.
Robusta estructura para trabajo pesado

010 / Dobladora eléctrica hidráulica para tubos de diámetro 3/8” - 2” / Hermafil / máquina dobladora de perfiles que ahorra tiempo y costos de producción respecto a dobladoras manuales.
Potente motor libre de mantenimiento.
Apta para calibres gruesos.
Capacidad diámetro desde 3/4” hasta 2” *schedule* 40.
Permite ángulos de doblado hasta 240°.
Visualización del ángulo de doblez.
Sistema hidráulico de gran capacidad.
Incluye dados de 1”, 1-1/2” y 1-3/4”

En el estado de arte de máquinas que cumplen la función de doblar perfiles metálicos, hay una amplia gama de modelos, que permiten realizar el doblez en perfiles tubulares circulares (diámetro mínimo 6 mm, diámetro máximo 219 mm), cuadrados (sección mínima 10 x 10 mm, sección máxima 180 x 180 mm), rectangulares (sección mínima 20 x 10 mm, sección máxima 150 x 100 mm), y platinas planas; logrando obtenerse múltiples configuraciones dobladas en materiales metálicos de diversas dimensiones del

perfil y espesores. Existen máquinas manuales, eléctricas, hidráulicas y con combinación de alguno de los anteriores sistemas de accionamiento.

También se encuentran máquinas de control numérico CNC que permiten una gran precisión y repetibilidad en las series de producciones medianas y grandes.

En el mercado nacional e internacional existe mayor oferta de las máquinas dobladoras para perfiles tubulares redondos, debido a ser los productos de mayor demanda en la industria, por lo tanto en este tipo de equipos se encuentran gran variedad de modelos.

2.4 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UNA MÁQUINA DOBLADORA DE PERFILES

Se inicia con una sustentación teórica del principio de funcionamiento del proceso de doblado, para posteriormente realizar una explicación general del funcionamiento de una máquina dobladora de perfiles.

Es de conocimiento general que los metales se pueden articular entre sí en las esquinas por medio de conexiones o uniones, o incluso por medio de técnicas de agregación de material como lo es el proceso de soldadura; pero en vez de unir, uno de los métodos más económico es el proceso de doblado.

En términos generales, el proceso de doblado consiste en generar *una deformación en los filamentos más externos tensándolos, mientras que los filamentos interiores de material por el contrario se comprimen. Entre esas capas exteriores e interiores de material se encuentran una especie de filamentos o fibras neutras, cuyas dimensiones se puede asumir que permanecen invariables al curvar el material. Cabe destacar que, aunque la disposición de dicha zona neutra suele estar más en la mitad del material, cuando la curvatura se fuerza más de lo permitido, esas fibras neutras pasan a localizarse más hacia la zona interior del material* (Gil, 2018).

Los productos obtenidos por medio del doblado son muy diversos, ya que este proceso se puede destinar a la transformación de chapas o láminas, alambres, barras, perfiles de diferentes geometrías que incluye tubería. Pero lo importante es resaltar que, sin importar el tipo de material o perfil que se esté sometiendo al proceso de doblado, este es un trabajo que requiere mucho cuidado y precisión, ya que básicamente el doblez se genera en el momento que se logra ejercer un esfuerzo mayor al límite elástico, en una dirección diferente al eje neutral del material, para que de esta manera el resultado obtenido sea una deformación plástica o permanente con geometría curva (Gil, 2018).

En la Figura 32 que indican los términos empleados en el proceso de doblado y en la Figura 33 se clarifica la naturaleza de la acción localizada del doblado.

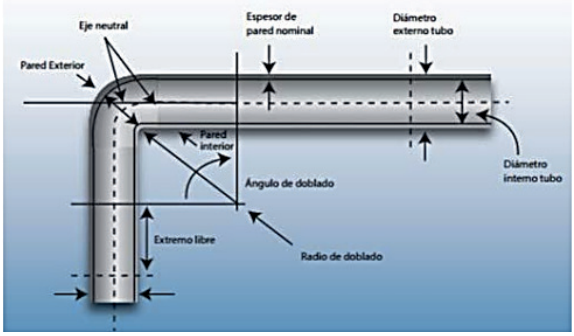


Figura 32. Términos asociados al proceso de doblado de perfiles (Cárdenas, 1989)

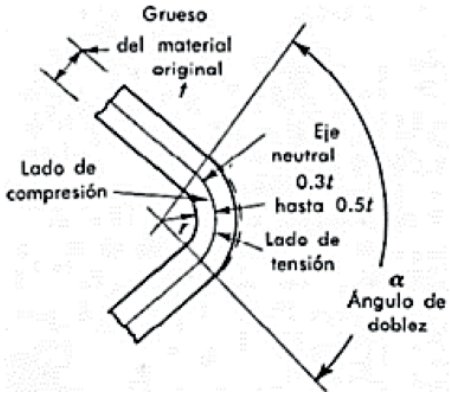


Figura 33. Naturaleza de la acción localizada del doblado (Doyle, 1988)

En el proceso de doblado de perfiles metálicos las máquinas de accionamiento manual están constituidas por una palanca o brazo manual y un eje de rotación. El objetivo de la palanca es determinar el giro y el ángulo de rotación que, impulsado por un operario, activa el eje de rotación, produciendo de esta manera que la potencia esté entre el punto de apoyo y la resistencia. El operario tiene la función de calibrar la máquina para el proceso de doblado, lo que implica que debe alimentar la máquina, insertando el material y colocando el perfil en una posición inicial, en la que este se debe sujetar y sostener verticalmente, la cual es una tarea que cumple el apoyo trasero en la máquina.

Generalmente lo primero que se hace es seleccionar la matriz de doblado, que en la máquina se refiere a elegir el par de dados de doblez, tanto el dado central que funciona como guía para el doblez, como el dado móvil que está destinado para presionar y ejecutar la acción del doblado. Los dados se escogen dependiendo de la geometría del perfil metálico a doblar y de las dimensiones del mismo.

Finalmente, con la fuerza del operario se produce el giro de la palanca que a su vez genera el esfuerzo de flexión necesario para doblar el perfil; el giro de la palanca debe

realizarse de manera controlada y regulada, donde a medida que ocurre el movimiento se debe ir verificando que sí, se esté consiguiendo el ángulo de curvatura deseado. Además, queda a disposición del operario si realiza el cambio de posición del tubo en caso de que requiera el doblado en otra dirección o se realiza dobleces de forma consecutiva.

En la Figura 34 se representa el proceso de doblado en tubos.

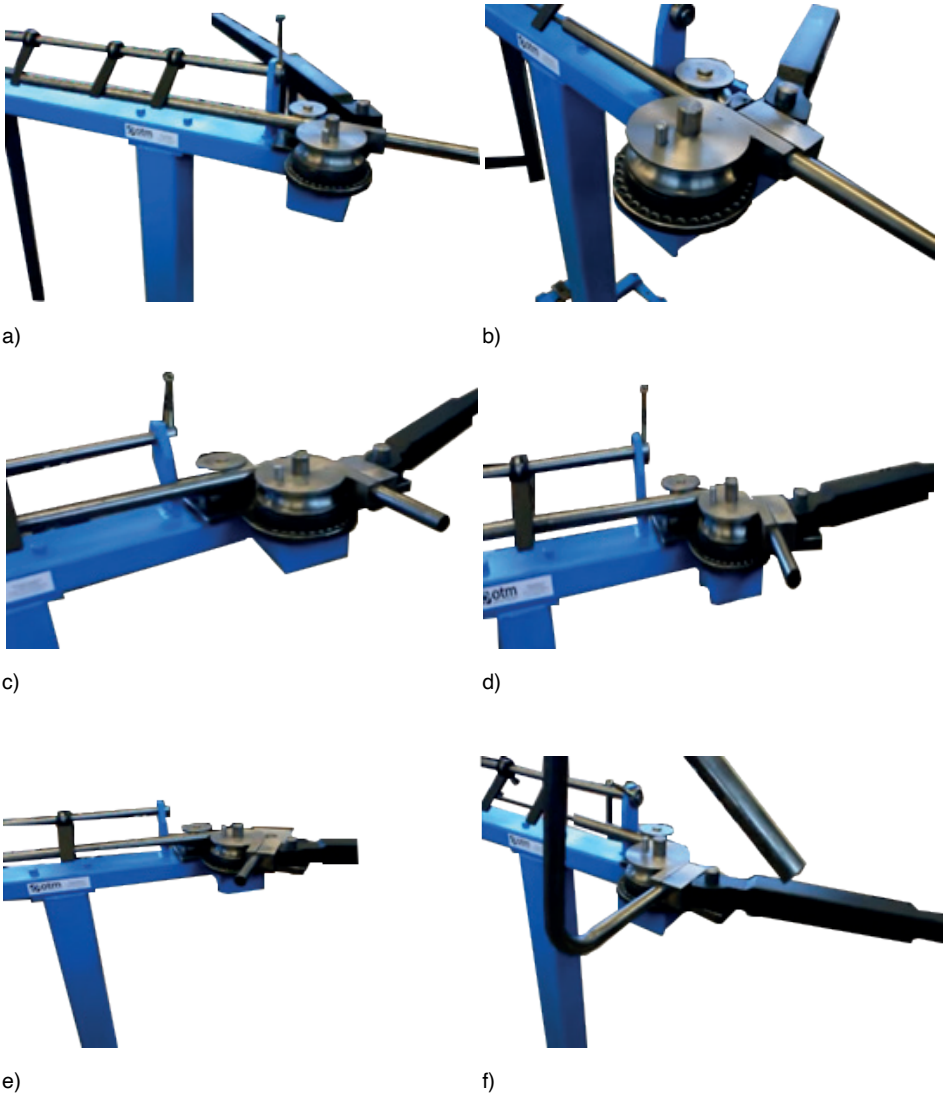


Figura 34. Secuencia del proceso de doblado de tubos de forma manual: a) alimentar la máquina, b) selección de matriz de doblado, c) giro de palanca generando doblez, d) tubo doblado posición intermedia, e) posición final del doblez, f) repitiendo el proceso para obtener otro doblez (YouTube, 2023)

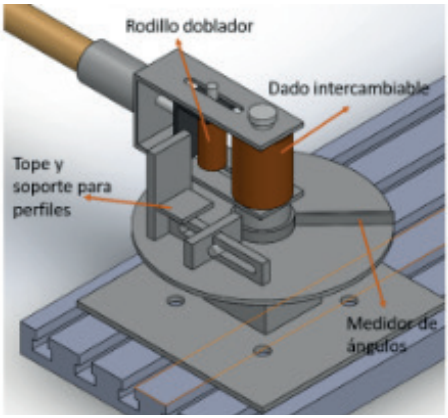
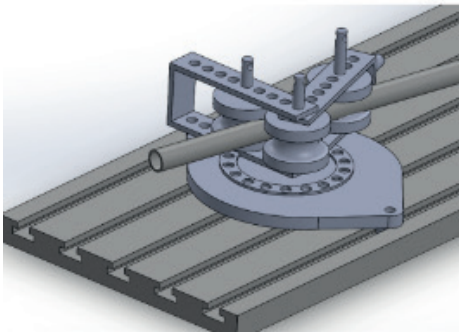
2.5 DISEÑO CONCEPTUAL Y ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA

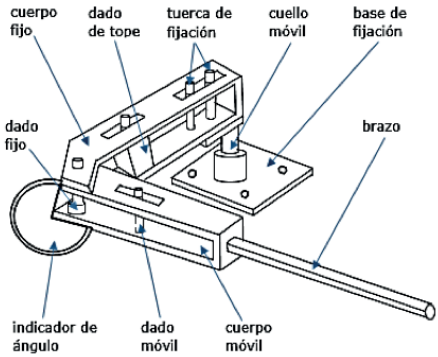
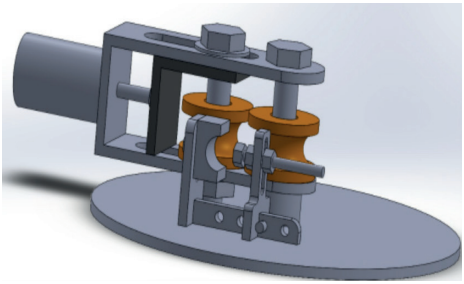
2.5.1 Diseño conceptual

En esta etapa, se proponen varias alternativas para la solución al diseño y construcción de la máquina dobladora para perfiles metálicos. Se plantearon varios diseños, de los cuales se filtraron tres de ellos por medio de un análisis de comparación de ventajas / desventajas y de principios de funcionamiento, los cuales cumplen las necesidades y especificaciones de diseño iniciales de diseño y los objetivos trazados, también fueron considerados los estudios del estado del arte de equipos existentes en el mercado nacional e internacional para poder generar estos conceptos.

Finalmente, se realizó la selección definitiva de un único diseño que recopila las mejores características y requisitos funcionales más destacados de las tres alternativas, como se observa en la Tabla 12, y ello se logró por medio de una matriz de selección elaborada con todos los criterios y rigurosidad necesaria en las calificaciones y ponderaciones cuantitativas de los mismos, para obtener la opción más viable para el diseño y posterior manufactura de la máquina.

Tabla 12. Generación de conceptos para máquina dobladora de perfiles (Sánchez *et al.*, 2023)

Concepto # / Descripción	Representación gráfica del concepto
Concepto 1 dobladora de perfiles / Las partes principales de este concepto son: rodillo doblador, dado intercambiable, medidor de ángulos, tope y soporte para perfiles. Para realizar el doblez en esta máquina inicialmente se ingresa el material a doblar, se ajusta el ángulo de doblez, se selecciona el dado intercambiable según la geometría a obtener y se procede a realizar el doblez ejerciendo fuerza y giro a la palanca	
Concepto 2 dobladora de perfiles / Este concepto tiene una configuración con tres dados, un dado central fijo y dos dados intercambiables de posición según la dimensión de perfil a doblar, este concepto está montado sobre la mesa de trabajo de una máquina fresadora universal atendiendo la especificación inicial de diseño	

Concepto 3 dobladora de perfiles / Las partes que constituyen este concepto son: cuerpo fijo, dado de tope, tuerca de fijación, cuello móvil, base de fijación, brazo de acompañamiento, cuerpo móvil, dado móvil, indicador de ángulo y dado fijo. Para doblar un perfil en este concepto se seleccionan los dados según las dimensiones del material a doblar, se coloca el material entre los dados fijos y los móviles, se ejerce manualmente una fuerza al brazo de acompañamiento hasta la indicación de ángulo requerido, finalmente se libera manualmente el tubo doblado y se repite el proceso tantas veces como doblez se requieran	
Alternativa seleccionada / Mejor alternativa de solución, que reúne las ventajas de los tres conceptos propuestos. Base principal que se fijara a la mesa de máquina fresadora universal, dado central fijo y dado giratorio, móvil y regulable en posición según la dimensión del material; palanca de accionamiento manual para el giro de los dados y soporte lateral para la fijación del material a doblar. Propuesta sencilla y viable técnicamente	

2.5.2 Especificaciones de diseño y características de la máquina

Se describen a continuación las especificaciones y características de la máquina dobladora para perfiles metálicos que se diseñara y posteriormente se fabricara.

- ***Dimensiones.*** Se trata de una máquina con dimensiones máximas de aproximadamente 400 mm de ancho por 450 mm de largo en la base sujetada a la bancada de una máquina fresadora universal, y que cuenta con una altura de 150 mm, estas dimensiones no tienen en cuenta la longitud de 1,5 m de la palanca utilizada para el giro, la cual es necesaria para minimizar el esfuerzo necesario para el doblado de los perfiles.
- ***Subsistemas.*** La máquina dobladora de perfiles, es dividida en con cuatro subsistemas, que se pueden observar en la Figura 35, cada una con funciones específicas, así:
  - ***Subsistema 1. Base.*** Para el soporte y la estabilidad de toda la máquina sobre la bancada de la máquina fresadora universal.
  - ***Subsistema 2. Palanca de giro.*** Conectada a una pieza en forma de U con rodachinas, la cual permite la rotación controlada del dado doblador durante el curvado de los perfiles.
  - ***Subsistema 3. Tope.*** Para realizar la fijación y el apoyo de los perfiles a doblar.

- ***Subsistema 4. Dado principal y dado móvil.*** El dado principal se encarga de configurar la guía del doblez, mientras que el dado móvil está enfocado en ejecutar la acción del doblado.

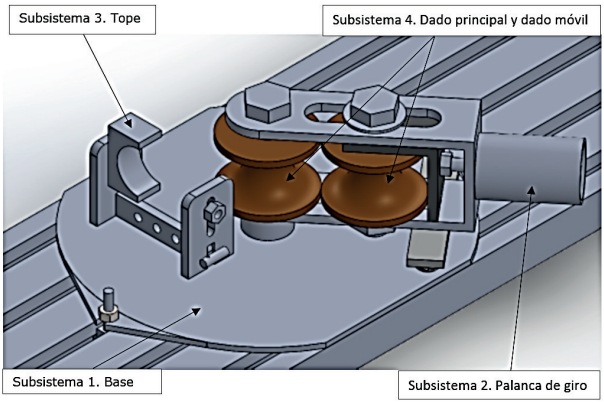


Figura 35. Subsistemas que conforman la máquina dobladora de perfiles

- ***Número de piezas.*** El número de piezas que conforman la máquina dobladora es reducido al máximo en su proceso de diseño, lo cual facilita su fabricación, su mantenibilidad y hace que la máquina sea modular, de muy fácil ensamble y desensamble, y de un rápido montaje y desmontaje sobre la bancada de la máquina fresadora universal que la soporta. Esto es de gran valor, ya que cada vez que sea necesario utilizar la máquina dobladora el proceso de hacerla operar demanda poco tiempo excesivo y es una tarea sencilla, de manera que una persona con conocimientos técnicos básicos pueda operarla sin ningún inconveniente.
- ***Peso.*** La máquina es diseñada con un reducido peso, con el fin de optimizar su uso de tal forma que sea operada por una sola persona y que esta no tenga que acudir a ningún tipo de ayuda mecánica adicional u otro operario para montar o desmontar la máquina; o para transportar la máquina para su uso en otro lugar diferente a la bancada de la máquina fresadora universal de presentarse el caso.
- ***Operario.*** Se requiere solo de un operario para accionar la máquina.
- ***Compacta.*** Es una máquina compacta, el área de desplazamiento que requiere el operario para el accionamiento de la máquina es aproximadamente 5 m^2, fue diseñada para ocupar el menor espacio posible, lo que evita movimientos innecesarios y el desgaste excesivo por parte del operario, y esto a su vez permite ahorrar espacio en el lugar de trabajo.
- ***Seguridad.*** La distancia mínima del operario respecto a la zona de mayor peligro de la máquina, que es la zona de doblado del perfil y que corresponde a

la toda la zona donde están montados los dados, es superior a la longitud de un brazo humano promedio, lo que la hace una máquina segura en su accionamiento y operación.

- ***Ergonomía.*** La máquina dobladora, una vez ensamblada y ajustada sobre la máquina fresadora universal, queda a una altura lo suficientemente cómoda para que el operario pueda ejercer la fuerza sobre la palanca de giro y generar el torque para producir el doblado de perfil; lo cual hace que la máquina sea muy ergonómica y no se generen lesiones o dolores musculares a los usuarios debido al sobre esfuerzo que implicaría una posición incómoda a la hora de ejercer una fuerza sobre la palanca. Dado que máquina dobladora se diseñó para montarse en la bancada una fresadora universal, la altura se puede ajustarse a diferentes alturas según la altura del operario o en la altura donde se sienta más seguro y cómodo en el proceso.
- ***Precisión.*** Es una máquina con una gran precisión de doblado en el caso de varillas, platinas y perfiles planos, lo cual la hace un equipo que garantiza la repetibilidad de la operación en este tipo de perfilería; y eso es un aspecto muy importante en situaciones en donde se exige que dos o más piezas tengan la misma forma o para garantizar uniformidad de una producción mediana.
- ***Versátil.*** Es una máquina dobladora con un amplio rango de giro, lo que la hace muy versátil y le permite fabricar perfiles doblados con gran variedad de ángulos.
- ***Elementos comerciales.*** Un gran porcentaje de los elementos empleados en la fabricación de la dobladora son comerciales, lo cual es tiene grande beneficios, entre ellos porque asegura que pueda realizarse una reparación rápida de la máquina en caso de sufrir alguna avería durante su operación; además, de que simplifica el proceso de manufactura, ahorrando tiempo y economizando dinero, sin necesidad de obtener piezas únicas diseñadas y manufacturadas desde cero.

2.6 DISEÑO PRELIMINAR Y CÁLCULOS

2.6.1 Esfuerzo que debe aplicarse para obtener el perfil doblado

A medida que se dobla un perfil tubular, la pared exterior de este comienza a estirarse y adelgazarse, mientras que la pared interior se engrosa y se comprime. Es importante controlar estos cambios para lograr una mayor precisión el ángulo de doblado requerido, por esta razón es de gran importancia determinar y calcular la fuerza con la que se va a doblar el perfil; existe la posibilidad de que el perfil sufra una deformación que puede ocurrir en forma de aplastamiento, abolladura, ovalamiento o torsión (Wilches, 2003).

En algunos casos puede suceder que una fuerza excesiva aplicada puede producir roturas del perfil y pérdida de resistencia estructural, por lo que es fundamental analizar

todos los factores involucrados en el proceso de doblado, como lo es el espesor, las dimensiones del perfil, el material, la cantidad de dobleces y la resistencia estructural de los dados o matrices de curvatura; por lo que estas consideraciones son importantes para obtener una buena calidad de doblado.

Una vez conocidas las características del perfil, dimensiones y resistencia a la fluencia se procede a calcular la fuerza necesaria. Para el siguiente cálculo se considera el doblez de un tubo y se debe tener en cuenta que el proceso de doblado corresponde a un proceso de flexión de material (Wilches, 2003).

Mediante la ecuación (7) se expresa la fórmula de flexión.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \qquad (7)$$

Donde:

σ: esfuerzo normal del elemento

M : momento flector

c : distancia desde el eje neutro

I : momento de inercia de la sección transversal

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza el análisis del esfuerzo necesario para deformar plásticamente un perfil, donde se utiliza un esfuerzo de fluencia de 320 MPa el cual corresponde a una tubería estructural fabricada bajo normas ASTM 500 y NTC 4526, el cual se obtiene de tablas de fabricantes de tuberías (Ternium, 2023), luego se tiene la ecuación (8) que corresponde al esfuerzo de fluencia.

$$\sigma = \sigma_y = 320\ MPa \qquad (8)$$

El momento flector de la máquina dobladora que se está diseñando se refiere a una fuerza aplicada por la dobladora que induce a una deformación en la pieza, por lo que este momento de flexión es el responsable de producir la curvatura necesaria para el perfil. Con base a la configuración de la máquina, este momento flector será inducido a los dados de doblado a través de la carga que se imprime mediante la palanca de giro que es accionada de forma manual, por lo que es necesario utilizar la teoría de la deformación por flexión para determinar el momento flector M necesario en el proceso, el cual se obtiene despejándolo de la ecuación (7) y se representa en la ecuación (9).

$$M = \frac{\sigma_y * I}{c} \qquad (9)$$

El momento de inercia de la sección transversal I, se encuentra considerando y seleccionado un perfil circular de diámetro 3/4” con un espesor de 0,02611 mm (Ferrasa, 2023), de tablas de fabricantes, y cuyos valores se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones del perfil circular, datos de fabricante (Ferrasa, 2023)

Características y denominación						Propiedades estáticas				
						Flexión			Torsión	
Diámetro			Espesor pared e	Peso P	Área A	Momento inercia I	Módulo sección s	Radio de giro r	Momento inercia J	Modulo Elástico B
Nominal	Exterior d	Interior d								
pulgadas	cm	cm	mm	Kgm/m	cm^2	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3
¾”	2,611	2,113	2,489	1,45	1,85	1,30	1,00	0,84	2,61	2,00

De la Tabla 13 se obtiene los valores de I= 1,30 x 10^{-8} m^4 y c= 0,02611/2 m (Ferrasa, 2023) y de la ecuación (8) con σ_y = 320 MPa; sustituyendo todos estos valores en la ecuación (9), se tiene que el momento flector es M= 320 Nm.

Este momento corresponde al momento flector mínimo requerido para doblar el perfil circular de diámetro 3/4” con un espesor de 0,02611 mm.

Una vez calculado el momento flector, se puede determinar la fuerza que se debe aplicar, mediante la ecuación (10).

$$F = \frac{M}{d} \qquad (10)$$

Donde:

F: fuerza aplicada [N]

M: momento flector [Nm], M= 320 Nm

d: distancia de aplicación de la fuerza [m]

Donde el valor de la distancia de aplicación de la fuerza d está determinado por medio de la longitud de la palanca de la máquina dobladora hasta el punto próximo al contacto con el material, este valor de longitud es tomado del diseño y corresponde a 1,5 m.

Reemplazando los valores en la ecuación (10) se obtiene que el valor de la fuerza aplicada es de 213 N, que corresponde a la fuerza que se debe aplicar para comenzar a deformar el perfil circular de diámetro 3/4” con un espesor de 0,02611 mm, se debe aplicar esta fuerza de forma regulada.

Otro valor importante a calcular es el radio mínimo de doblez R al cual se puede doblar el perfil tubular; este depende de varios factores. Por ejemplo, cuando se utiliza un mandril, el radio mínimo es aproximadamente 1,5 veces el diámetro D, mientras que sin usar un mandril es de aproximadamente 3,0 veces el diámetro D (Wick *et al.*, 1984); ver términos R, D y t en Figura 36.

Estos valores exactos dependen del factor de pared WF, que se calcula dividiendo el diámetro entre el espesor de la pared t. Los valores más altos de WF aumentan el radio mínimo de doblez, lo que significa que el doblado de tubos es más difícil para las paredes delgadas. La ductilidad del material de trabajo también es un factor importante en el proceso de doblado de perfiles.

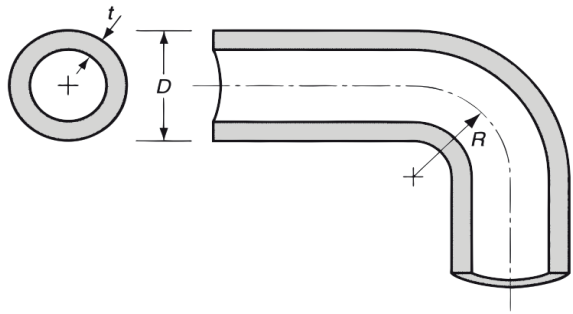


Figura 36. Dimensiones y términos en el doblado de perfil circular, donde D: diámetro exterior del tubo, R: radio de doblado y t: espesor de la pared (Groover, 2007)

2.7 DISEÑO DE DETALLE

El diseño de detalle final de la máquina dobladora para perfiles metálicos, está conformado por un total de 18 elementos principales, los cuales se detallan en la Tabla 14 y se representan gráficamente en la Figura 37.

Tabla 14. Detalles de los elementos que conforman la máquina dobladora de perfiles

Ref.	Descripción	Cantidad	Material / Especificaciones
1	Soporte para fresadora	1	Acero HR A36 / platinas de espesor ¼”
2	Tope trasero para perfilería	1	Acero HR A36 / 92 mm x 62 mm x ¼”
3	Pasador	1	AISI SAE 1020 / Φ7/16” x 62 mm
4	U principal	1	Acero HR A36 / platinas de espesor ¼”
5	Tuerca 3/8”	2	Acero inoxidable / comercial
6	Tornillo 3/8” x 100 mm	1	Acero inoxidable / comercial
7	Tornillo ½” x 80 mm	1	Acero inoxidable / comercial
8	Tuerca ½”	1	Acero inoxidable / comercial
9	Tornillo grado 8, 1” x 150 mm	2	Acero pavonado / comercial
10	Arandela 1”	2	Acero pavonado / comercial
11	Tornillo M4 x 8	4	Acero inoxidable / comercial
12	Rueda loca CY15	2	Acero inoxidable / comercial
13	Tuerca 1”	1	Acero pavonado / comercial
14	Apoyo trasero del perfil	1	AISI SAE 1045 / 43 mm x 70 mm x 30 mm
15	Dados para tubería de 2”	2	AISI SAE 1045 / Φ102 mm x 72 mm
16	Dados para tubería de 1”	2	AISI SAE 1045 / Φ77 mm x 52 mm
17	Palanca tubular	1	Acero HR A36 / Φext 55 mm x calibre 14 x largo 1,5 m
18	Tope dado doblador	1	Acero HR A36 / 95 mm x 85 mm x 75 mm

En la Figura 37, se puede observar el plano general del diseño de la máquina dobladora para perfiles metálicos, sus dimensiones generales, detalles de diseño y observaciones generales.

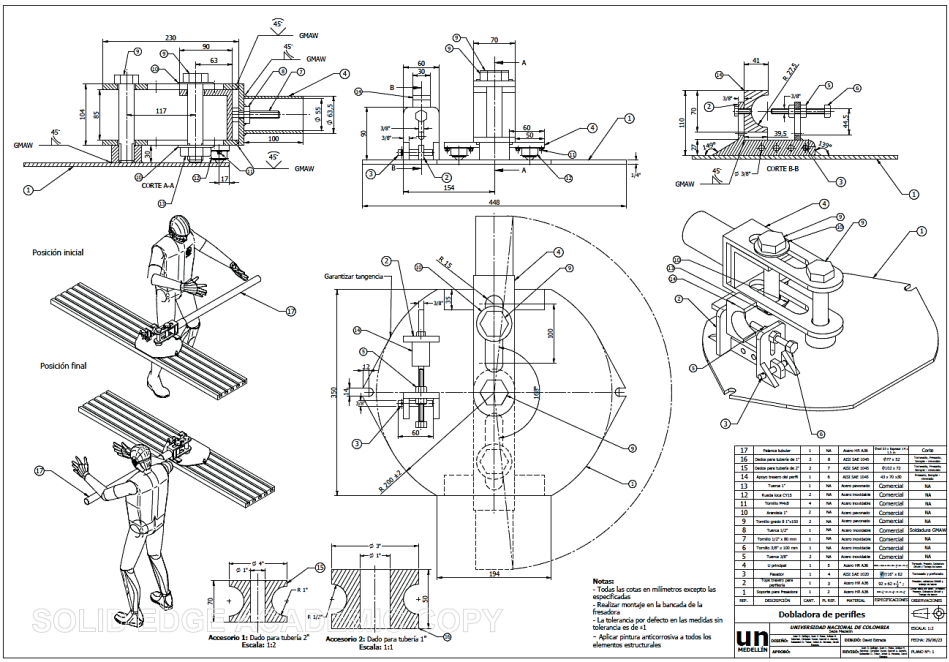


Figura 37. Plano general de diseño de máquina dobladora para perfiles metálicos (Sánchez *et al.*, 2023)

A continuación en las Figuras 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45 se representan los planos de detalle de las componentes que se requieren manufacturar y que conforman la máquina dobladora de perfiles, los demás elementos son comerciales.

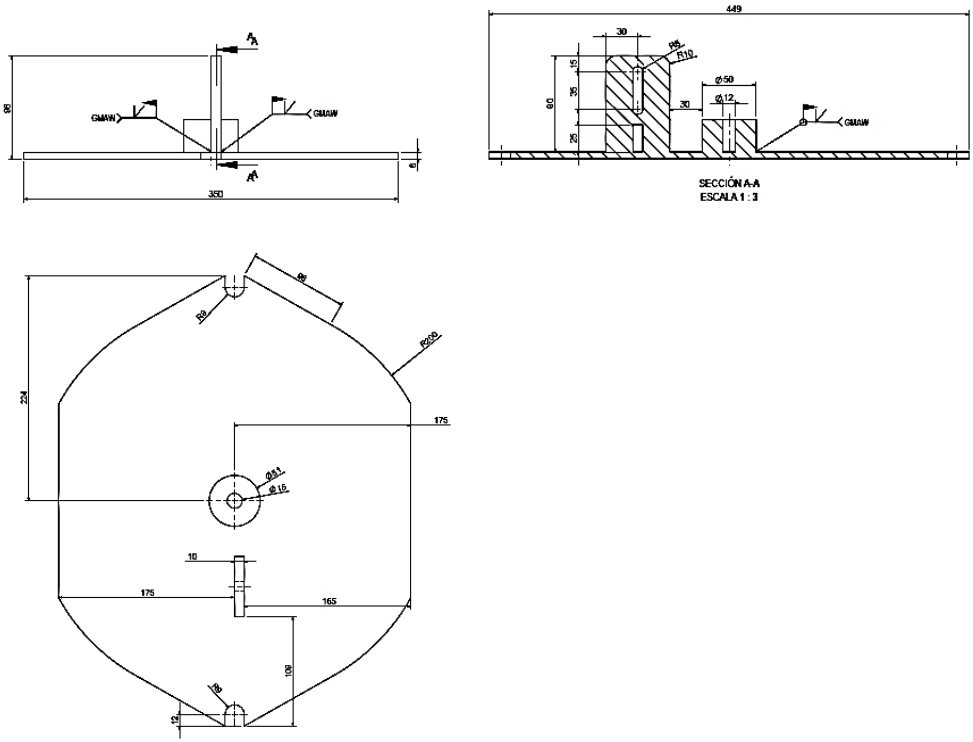


Figura 38. Soporte para fresadora, Ref. 1, cantidad: 1, material: acero HR A36, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

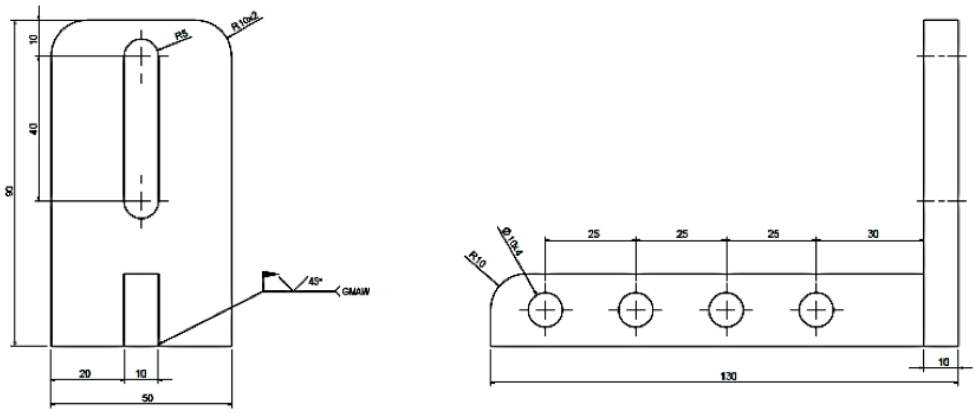


Figura 39. Tope trasero para perfilería, Ref. 2, cantidad: 1, material: acero HR A36, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

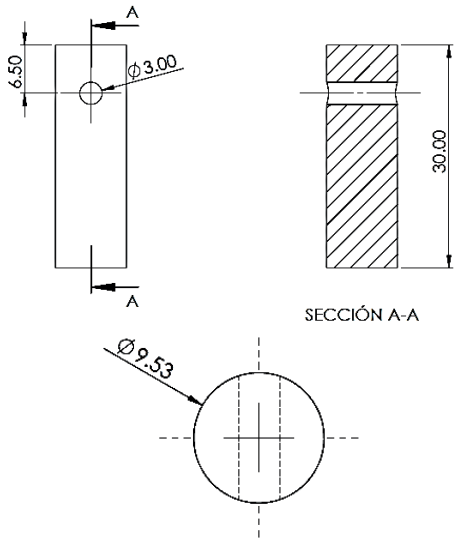


Figura 40. Pasador, Ref. 3, cantidad: 1, material: AISI SAE 1020, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

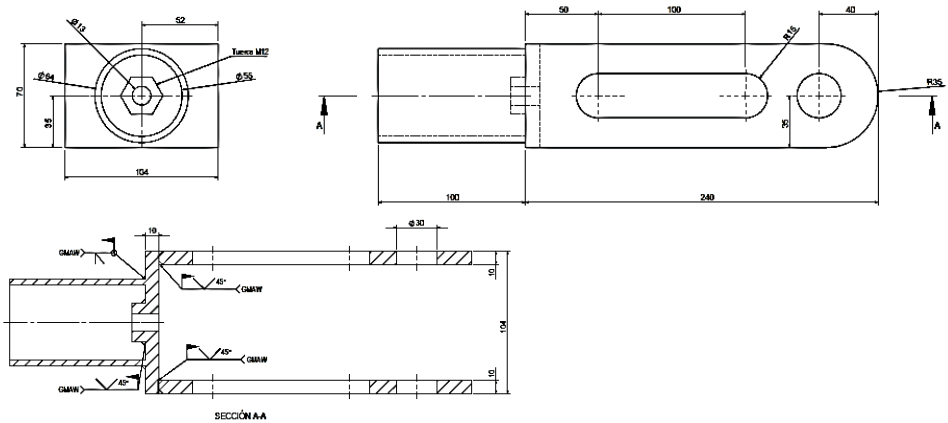


Figura 41. U principal, Ref. 4, cantidad: 1, material: acero HR A36, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

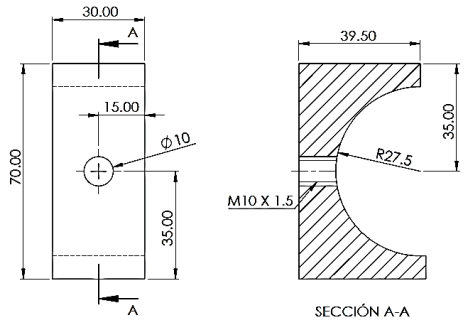


Figura 42. Apoyo trasero del perfil, Ref. 14, cantidad: 1, material: AISI SAE 1045, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

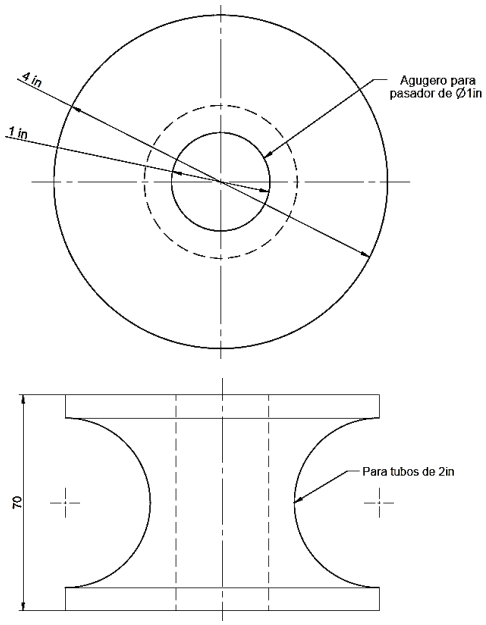


Figura 43. Dados para tubería de 2”, Ref. 15, cantidad: 2, material: AISI SAE 1045, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

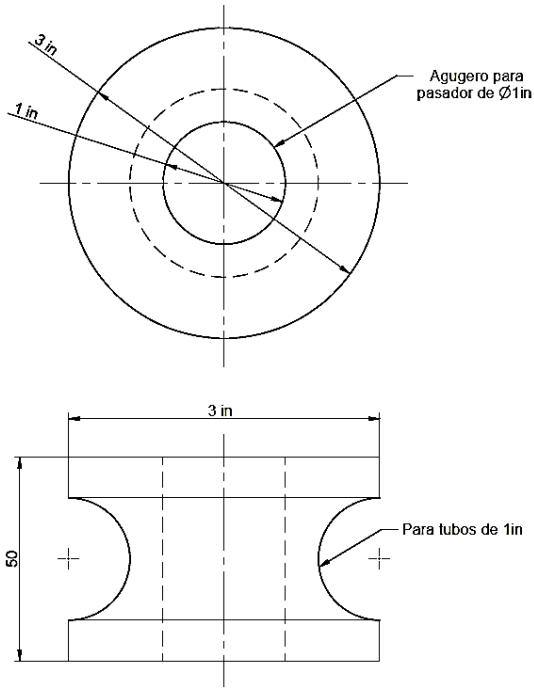


Figura 44. Dados para tubería de 1”, Ref. 16, cantidad: 2, material: AISI SAE 1045, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

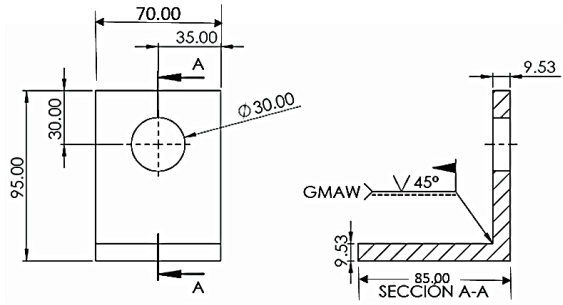


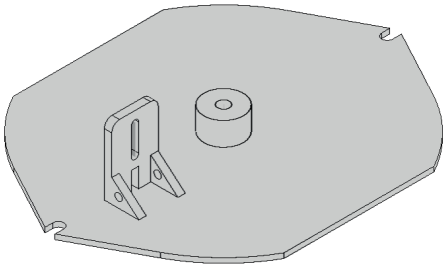
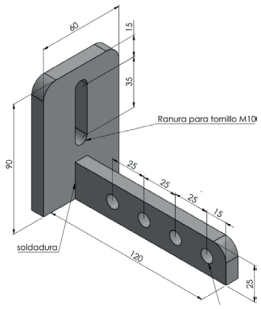
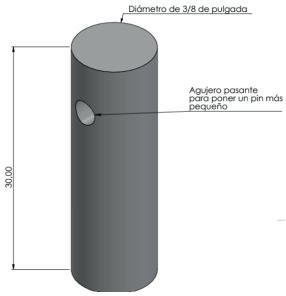
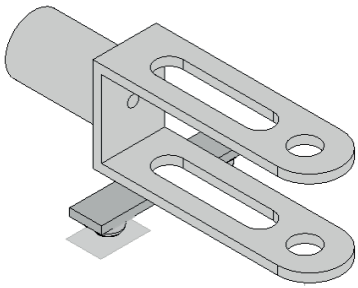
Figura 45. Tope dado doblador. Ref. 18, cantidad: 1, material: Acero HR A36, dimensiones en milímetros (Sánchez *et al.*, 2023)

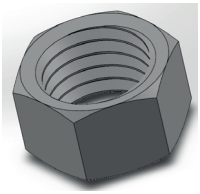
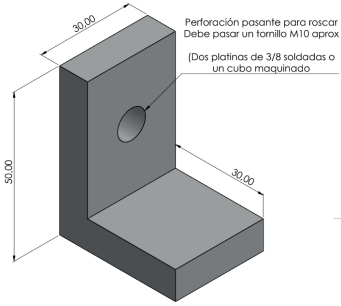
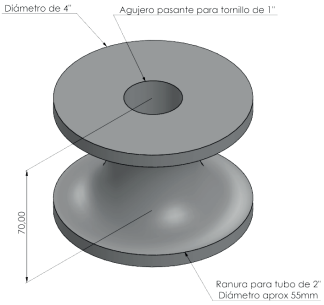
El 50% de elementos que conforman la máquina dobladora de perfiles son comerciales, factor que se buscada desde las especificaciones iniciales de diseño.

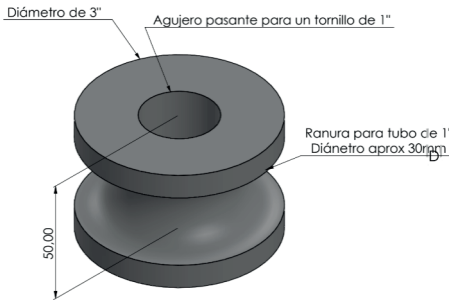
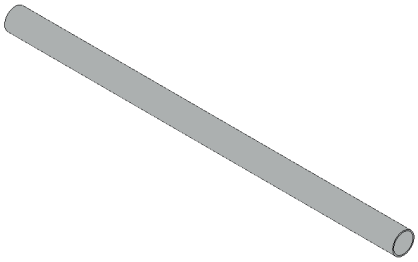
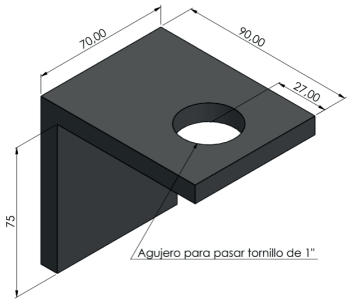
2.7.1 Descripción de los componentes

En la Tabla 15, se representa de manera detallada la definición de los elementos que integran la máquina dobladora y se realizar una representación en 3D para una más rápida comprensión de su geometría.

Tabla 15. Definición de los elementos que integran la máquina y representación en 3D (Sánchez *et al.*, 2023)

Ref. # / Descripción	Definición del elemento	Representación en 3D
1 / Soporte para fresadora	Este elemento sirve para soportar y posicionar los componentes de la máquina, a su vez que permite realizar el montaje de esta en la bancada de la máquina fresadora universal	
2 / Tope trasero para perfilería	Este elemento permite regular y ajustar el espacio en el tope trasero de la máquina, según la dimensión de perfil que se vaya a doblar y se requiera soportar en el	
3 / Pasador	Esta pieza posibilita posicionar el tope trasero (Ref. 2) según el tipo y dimensiones del perfil a ser doblado	
4 / U principal	Este elemento se encarga de dar rigidez y soportar los componentes de la máquina, principalmente los dados (Ref. 15 o 16) usados para el doblez de los perfiles, cuenta con dos pequeños rodachinas en sus extremos laterales que sirven como apoyo y permiten distribuir las cargas. En el extremo circular tubular se introduce la palanca tubular (Ref. 17)	

5 / Tuerca 3/8”	Este elemento sirve para fijar el tornillo de 3/8” (Ref. 6) en la posición requerida para el proceso de doblado	
6 / Tornillo 3/8” x 100 mm	Este elemento tiene como función principal posicionar el dado secundario y servir como apoyo del dado principal (Ref. 15 o 16) para realizar el doblado requerido	
9 / Tornillo grado 8, 1” x 150 mm	Este elemento debe ir roscado en el buje del soporte para fresadora (Ref. 1), se encarga de soportar, posicionar y dar rigidez a la U principal (Ref. 4) cuando está en reposo y durante el proceso de doblado	
10 / Arandela 1”	Este elemento sirve para reducir el área de contacto entre los dados (Ref. 15 o 16) y la U principal (Ref. 4) de la máquina, y también para reducir el desgaste de estos debido a la condición de fricción	
14 / Apoyo trasero del perfil plano	Este elemento es sobre el cual se apoya y se posiciona el perfil que se desea doblar en el tope trasero (Ref. 2) de la máquina	
15 / Dados para tubería de 2”	Estos elementos son considerados el componente principal de la máquina, y son sobre los cuales se apoya el perfil durante el proceso de doblado para adoptar su forma, aplicación para perfiles de 2”	

16 / Dados para tubería de 1”	Estos elementos son considerados el componente principal de la máquina, y son sobre los cuales se apoya el perfil durante el proceso de doblado para adoptar su forma, aplicación para perfiles de 1”	
17 / Palanca tubular	Este elemento va ensamblado en la U principal (Ref.4) de la máquina, mediante el cual se manipula la misma y sirve como brazo de fuerza para realizar el proceso de doblado	
18 / Tope dado doblador	Este elemento ayuda a fijar, soportar y dar rigidez al perno secundario (Ref. 9) de la máquina para garantizar su correcto posicionamiento y adecuado funcionamiento	

2.7.2 Descripción de la máquina diseñada

La máquina dobladora de perfiles se diseñada con un principio de funcionamiento fácil y sencillo. El eje central de la estructura mecánica de la máquina se compone de un tornillo (Ref. 9) que cumple la función de ser el eje principal y sobre el cual se monta el dado central (Ref. 15 o 16) y abrazando este dado se instala la U principal (Ref. 4) cuyo extremo tiene forma circular tubular donde se introduce la palanca tubular (Ref. 17) que permite realizar el giro y el accionamiento manual del dispositivo, ver Figura 46. La palanca tubular (Ref. 17) es desmontable, con el fin de quitarla de la máquina cuando no esté en funcionamiento, también se puede emplear otra palanca de mayor longitud en caso de ser necesario para aumentar la fuerza de aplicación del doblado.

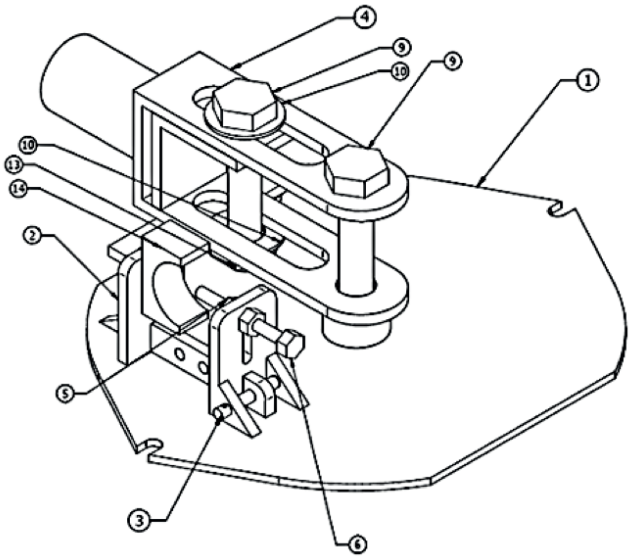


Figura 46. Descripción de la máquina dobladora para perfiles metálicos (Sánchez *et al.*, 2023)

En la parte intermedia de la U principal (Ref. 4) se encuentra el otro tornillo (Ref. 9), el cual sirve como eje de soporte para el dado doblador (Ref. 15 o 16), este dado doblador puede regularse y moverse debido a que la U principal (Ref. 4) posee una ranura que funciona como guía y permite el desplazamiento del conjunto dado doblador (Ref. 15 o 16), el tornillo (Ref. 9) y la arandela (Ref. 10). El dado doblador (Ref. 15 o 16) al poder regularse su posición permite realizar el doblez de diferentes dimensiones y geometrías de perfiles a doblar.

Tanto el dado principal como el dado doblador (Ref. 15 o 16), son intercambiables y se montan por pares para doblar perfilería circular de diámetro 2” (Ref. 15) y otro par de dados para doblar perfilería circular de diámetro 1” (Ref. 16).

Las fuerzas requeridas para realizar la operación de doblez pueden llegar a ser muy elevadas en algunas aplicaciones, por lo tanto es diseñado un sistema de fijación que consiste en una tuerca (Ref. 13) que ajusta la posición del tornillo (Ref. 9) que sirve de eje al dado doblador (Ref. 15 o 16), esta tuerca (Ref. 13) se encuentra en la parte inferior del tornillo (Ref. 9) y por debajo de la U principal (Ref. 4). Adicionalmente el dado doblador (Ref. 15 o 16) posee el tope del dado doblador (Ref. 18) para garantizar la fijación del dado doblador (Ref. 15 o 16), el tope del dado doblador (Ref. 18) se une a la U principal (Ref. 4) mediante una tuerca y tornillo.

El Tornillo (Ref. 9), que es considerado el eje principal de la máquina se fija en un extremo a un buje roscado que se encuentra soldado al soporte de la fresadora (Ref. 1). La U principal (Ref. 4) está soportada sobre dos rodachinas (Ref. 12) que se apoyan en el soporte de la fresadora (Ref. 1) y que permiten a su vez el movimiento de giro de todas las

componentes que están montadas en la U principal (Ref. 4); es decir permite el giro de los dados (Ref. 15 o 16) y de la palanca tubular (Ref. 17).

El soporte de la fresadora (Ref. 1) es diseñado con una geometría que optimiza el uso de material, y cuenta con las dimensiones perfectas para adaptarse a la mesa de la máquina fresadora y dispone de un sistema de fijación por tornillos que permiten unir el soporte de la fresadora (Ref. 1) mediante las ranuras en T existentes en la fresadora y las dos ranuras diseñadas en el soporte de la fresadora (Ref. 1). Esto asegura que todo el sistema tenga rigidez y la fijación entre la máquina dobladora y la mesa de la fresadora sea confiable y de fácil montaje y desmontaje.

Para evitar que la perfilería a ser doblada se desplace o mueva en el sentido de giro de la palanca tubular (Ref. 17), es diseñado el apoyo trasero del perfil (Ref. 14), ya que en el proceso de doblado los perfiles ejercen una resistencia a la fuerza de doblado. La función principal del apoyo trasero del perfil (Ref. 14) es garantizar que la perfilería a ser doblada permanezca fija y en posición vertical sobre la máquina de doblado. Se diseñaron tres tipos de apoyo trasero del perfil (Ref. 14), según la forma y geometría de la perfilería a doblar: 1) de cavidad circular para perfilería circular de diámetro 1”, 2) de cavidad circular para perfilería circular de diámetro 2”, y 3) de geometría en L para perfiles planos (Ref. 14).

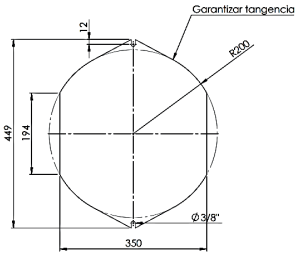
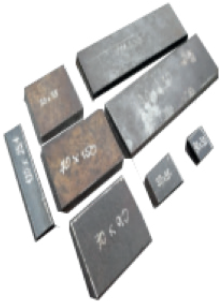
El apoyo trasero del perfil (Ref. 14) se fija fácilmente al tope trasero para perfilería (Ref. 2) mediante un tornillo, y una ranura que posee el tope trasero de la perfilería (Ref. 2) y la rosca que se fabrica en el respaldo del apoyo trasero del perfil (Ref. 14). Además, el tope trasero para perfilería (Ref. 2) posee una serie de agujeros distanciados de tal forma que permite ajustar el frente móvil del tope trasero (Ref. 2) y a su vez fijar los perfiles a doblar todo ellos mediante un sistema de fijación con el pasador (Ref. 3) y adicionalmente mediante el tornillo (Ref. 6), y tuerca y contratuerca (Ref. 5) se asegura que el perfil a doblar no me mueva de su posición inicial.

2.8 PROCESO DE FABRICACIÓN

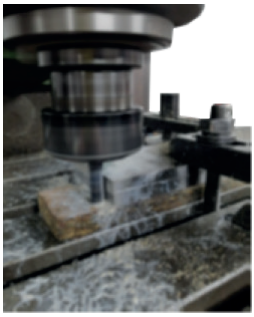
2.8.1 Fases para la materialización de la máquina

Para llevar a cabo el proceso de fabricación de la máquina dobladora de perfiles se requieren de diferentes procesos de manufactura convencional como: fresado, torneado corte, taladrado, soldadura, pulido, roscado, pintura y tratamiento térmico, en la Tabla 16 se describen las fases para la materialización de la máquina.

Tabla 16. Proceso de fabricación de las componentes de la máquina dobladora de perfiles

Referencia # / Descripción del proceso de fabricación o compra	**Evidencia fotográfica**
5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 / Las piezas: tuerca 3/8”, tornillo 3/8” x 100 mm, tornillo ½” x 80 mm, tuerca ½”, tornillo grado 8, 1” x 150 mm, arandela 1”, tornillo M4 x 8, rueda loca CY15, y tuerca 1” fueron adquiridas comercialmente en proveedores locales. Se muestra las dos ruedas locas CY15 (Ref. 12) que se emplean para ayudar a apoyar y guiar la U principal (Ref. 4); los demás elementos son de fácil conocimiento	Tornillería Ruedas locas CY15
1 / Soporte para fresadora, esta pieza se fabricó con terceros, lámina de acero HR A36 de espesor ¼” con posterior corte con plasma, pulido y redondeo	 Plano para fabricación del soporte para fresadora Proceso de fabricación del soporte para fresadora
2, 4, 14, 18 / Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren compra de material y proceso de corte del material. La preparación y el fraccionamiento de la materia prima adquirida, es un proceso de suma importancia para definir la cantidad de materia prima destinada a la elaboración de cada uno de los componentes. Se aplicaron los respectivos cortes a la lámina de material acero HR A36, para iniciar luego formalmente con la construcción de la máquina. Para la ejecución de los cortes de manera controlada, precisa y segura se empleó la máquina sierra cinta	Corte de material  Platinas cortadas

2, 4, 14, 18 /
Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren proceso de rectificado. Luego de tener las láminas cortadas, estas se someten a un proceso de rectificación por medio de una fresadora universal para que de esta manera garantizar las medidas correctas en las aristas y las condiciones de paralelismo y perpendicularidad necesaria entre las caras. Este proceso es de mucha relevancia, ya que el objetivo del rectificado es el de producir superficies geométricamente correctas, corregir imperfecciones menores en las superficies de las láminas, mejorar la precisión dimensional y proporcionar un ajuste estrecho entre las superficies de dos láminas en contacto



Rectificado de platinas

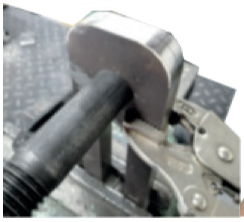
Platinas rectificadas

2, 4, 14, 18 /
Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren proceso de ranurado. Según los requerimientos y las dimensiones especificadas en los planos de cada una de las piezas diseñadas, se debe realizar perforaciones y ranuras la interior de las piezas, se procedió con la realización de estos procesos mediante la máquina fresadora universal y la verificación dimensional con ayuda del calibrador

Ranurado de platinas

Platinas ranuradas

2, 4, 14, 18 /
Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren proceso de redondeo. Con el fin de eliminar aristas vivas, esquinas y puntas de algunas de las láminas con las que se fabricaran las piezas, se realizó el redondeo y desbaste de estas, según las especificaciones de diseño. Para realizar esta labor, se utilizó una herramienta pulidora manual. La importancia de eliminar las aristas puntiagudas o esquinas pronunciadas radica en que este tipo de geometrías en algún momento pueden comportarse como concentradores de esfuerzo, incluso representan un peligro que se evita con este simple proceso



Redondeo de platinas

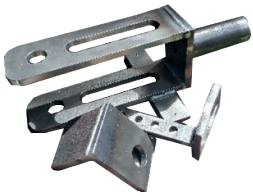
Platina redondeada

2, 4, 14, 18 /
Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren preparación para el proceso de pintura y soldadura. Teniendo en cuenta que la máquina debe ser pintada como parte del proceso de acabado estético y protección superficial, se requiere retirar la calamina, de las láminas con ayuda de una grata. Esto se debe realizar al momento de aplicar el anticorrosivo y la pintura final y puedan adherirse perfectamente a la superficie de las piezas. Para la preparación al proceso de soldadura se realizaron los respectivos biseles, para así poder asegurar una adecuada penetración de la soldadura

Platinas limpias

Bisel en platina

2, 4, 14, 18 /
Los elementos: tope trasero para perfilería, U principal, apoyo trasero del perfil y tope dado doblador; requieren el proceso de soldadura y acabado superficial. Se realizó la soldadura en las piezas necesarias para poder ir construyendo la máquina. Es un proceso que requiere de mucha destreza por parte del operario y asegurar una buena unión de las piezas a soldar. Como parte del proceso de soldadura las piezas iban siendo debidamente acabadas superficialmente por medio de un disco de pulido, que permite retirar los remanentes de la soldadura presente en los cordones de soldadura, con el fin de garantizar un mejor acabado y mejor adherencia de los procesos de acabado superficial posteriores. En este proceso, la técnica utilizada fue soldadura GMAW, con un electrodo Er70s6 GMAW calibre 0,030 y con un flujo de gas de protección mezcla 75 - 25 Argón CO_2 de 28 L/min



Elementos soldados Tope trasero soldado

Proceso de fabricación de U principal

15, 16 /
Los dados para tubería de 2” y para tubería de 1”, fueron maquinados y posteriormente sometidos a un tratamiento térmico. Los dados para el doblado de los perfiles fueron mecanizados por un tercero, los dados tienen el dimensionamiento geométrico necesario para el doblado de perfiles de 1” y 2”. Con el objetivo de dar una mayor resistencia y dureza se decide aplicar a los dados tratamientos térmicos debido a que estos estarán sometidos a altas cargas de compresión y es necesario contar con un material lo suficiente resistente y duro que permita el doblado de los perfiles sin deformarlos. Los tratamientos térmicos de temple más revenido permitieron tener una dureza final en los dados entre 50 HRC - 52 HRC

Dados maquinados

Tratamiento térmicos de dados

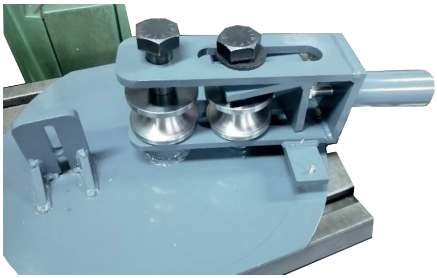
Dados con tratamiento térmico

Todos los elementos /
Ensamble de la máquina dobladora para perfiles. Se montan las componentes de los cuatro subsistemas que conforman la máquina.
Ensamble previo sin pintura para poder realizar ajustes

Montaje de susbistema de dados sobre soporte para fresadora

Todos los elementos /
Aplicación de pintura. Se realizó la limpieza respectiva con *thinner* de todas las piezas estructurales antes de aplicar la pintura anticorrosiva en aerosol color gris, se aplicó dos manos de pintura o acabado final para garantizar la suficiente adherencia de la pintura, y un grosor de capa mayor que resistiera el desgaste a medida que se utilice la máquina, se ensambla la máquina nuevamente y se monta sobre la mesa de la fresadora universal

Pintura de los dados



Máquina pintada

2.8.2 Costos de fabricación

Estimación de los costos de los elementos comerciales y no comerciales empleados en todo el proceso para la fabricación de la máquina dobladora de perfiles; en la Tabla 17, se observan los valores de las piezas comerciales adquiridas con proveedores locales y se incluyen los precios de la materia prima requerida para fabricar todos los elementos que componen la máquina.

Tabla 17. Costos de fabricación

Ref.	Descripción	Cantidad	Valor total [$USD]
1	Soporte para fresadora	1	23,62
2	Tope trasero para perfilería	1	8,75
3	Pasador	1	6,25
4	U principal	1	30,00
5	Tuerca 3/8”	2	0,50
6	Tornillo 3/8” x 100 mm	1	1,50
7	Tornillo ½” x 80 mm	1	2,00
8	Tuerca ½”	1	0,75
9	Tornillo grado 8, 1” x 150 mm	2	15,87
10	Arandela 1”	2	0,50
11	Tornillo M4 x 8	4	1,25
12	Rueda loca CY15	2	8,75
13	Tuerca 1”	1	1,37
14	Apoyo trasero del perfil	1	5,50
15	Dados para tubería de 2”	2	201,75
16	Dados para tubería de 1”	2	145,00
17	Palanca tubular	1	9,50
18	Tope dado doblador	1	8,75
	Valor total de la máquina		471,61

Los valores presentados en la Tabla 17 corresponden a precios de compra y adquisición de los elementos nuevos, componentes comerciales, materia prima y mano de obra, con fecha del año 2023, en dólares americanos.

La inversión requerida para poder materializar el diseño de la máquina dobladora para perfiles metálicos es de $USD 471,61; este valor es viable y justificable dados los logros obtenidos, donde se evidencia una máquina que atiende la función principal y que cumple con las especificaciones de diseño.

2.8.3 Montaje con pruebas de doblado

A partir de la manufactura y ensamble de cada uno de los cuatro subsistemas: subsistema 1. Base; subsistema 2. Palanca de giro; subsistema 3. Tope y subsistema 4. Dado principal y dado móvil, (Figura 47); que conforman la máquina, se logra obtener la configuración funcional de la máquina dobladora de perfiles, la cual se representa en la Figura 48, donde se representa el diseño y la máquina manufacturada y ensamblada.

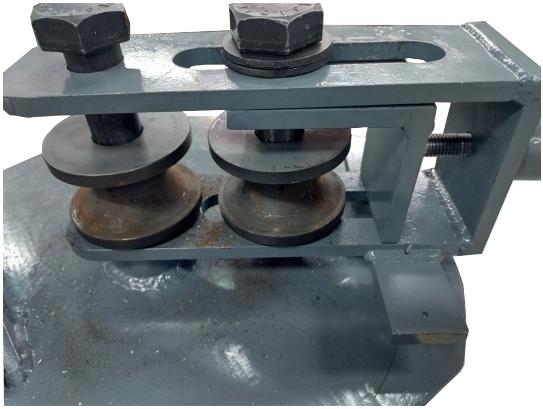
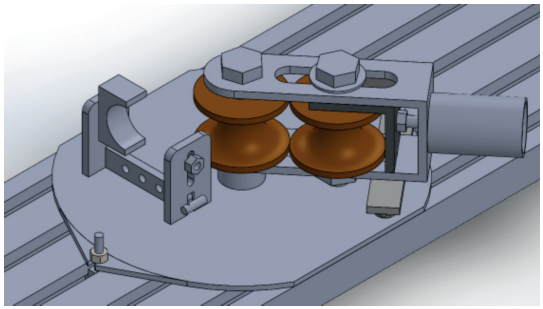


Figura 47. Subsistema 4. Dado principal y dado móvil de la máquina dobladora de perfiles



a)

b)

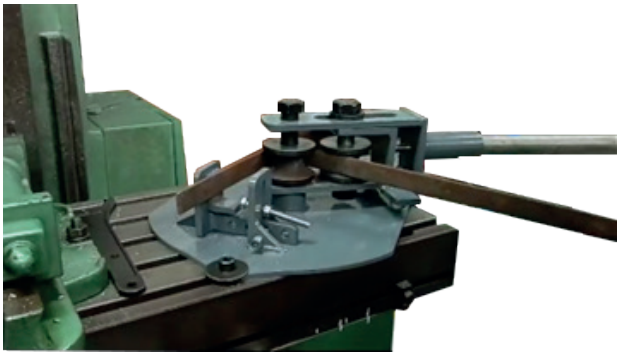
Figura 48. Diseño y fabricación de dobladora para perfiles metálicos: a) vista frontal del diseño, b) fabricación de dobladora de perfiles

Terminadas las diferentes pruebas de montaje y realizados los ajustes y puesta a punto de la máquina esta es desensamblada para proceder con el proceso de pintura, para los cual se bebe realizar la limpieza adecuada de todos los elementos y la preparación previa a la pintura como tal; se emplea protección con pintura anticorrosiva y se realiza proceso de pintura con pistola. Terminado este proceso y secas todas las piezas se repite de nuevo el proceso de ensamble de todos los cuatro subsistemas que conforman la máquina, en la Figura 49 se observa la máquina montada en la mesa de la fresadora universal que era uno de los propósitos del proyecto.

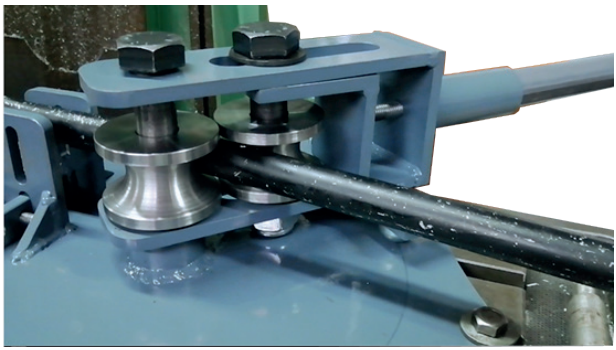
Figura 49. Montaje de la máquina dobladora de perfiles sobre la mesa de una fresadora universal

En la Figura 50, se observan las representaciones de las pruebas efectuadas con el fin de obtener el doblado de diferentes geometrías de perfiles metálicos, en la Figura 50 a) se realiza el doblado de una platina plana de 2” de ancho y ¼” de espesor; en la Figura 50 b) las pruebas de doblado de un perfil circular de diámetro 2”, calibre 14 (0,0747” o 1,9 mm); y en la Figura 50 c) se efectúa la prueba de doblado de una varilla sólida de diámetro 3/8”.

Las recomendación general es emplear la máquina para el doblado de perfiles de espesores de calibre 14 (0,0747” o 1,9 mm), calibre 15 (0,0673” o 1,71 mm) y espesor de 1/16” (0,0625” o 1,58 mm); espesor de perfiles de calibres menores a los anteriores son doblados con facilidad.



a)



b)

c)

Figura 50. Pruebas de doblado en perfiles de diferentes geometrías: a) doblado de una platina plana de ancho 2” y espesor ¼”, b) doblado de un perfil circular de diámetro 2”, calibre 14, c) doblado de una varilla sólida de diámetro 3/8”

APLICACIONES DE PROYECTOS DE SISTEMAS MECÁNICOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Se deben romper los paradigmas de una formación donde esté ausente la formación práctica, los ingenieros dada su competencia profesional del hacer, requieren desde las aulas, talleres, laboratorios, vistas técnicas, prácticas; realizar proyectos de ingeniería que les permitan aprender haciendo; ya se poseen suficientes datos, información, conceptos, teoría y conocimiento, es fundamental recoger todos estos elementos y aplicar lo aprendido y acercar desde la formación práctica a los estudiantes de ingeniería a su quehacer profesional donde deben hacer, construir, ensamblar, comprar, desarmar, ver los diseños construidos a través de prototipos cuasi reales o lo más cercanos a su realidad y que se retroalimenten con la etapa práctica del proyecto, que es donde está el verdadero resultado de todo lo aprendido.

La contextualización de todo proyecto de ingeniería debe tener una estructura y cuerpo que responda al menos a estos cuestionamientos básicos: 1) qué?, 2) porqué?, 3) para quién?, 4) para qué?, 5) cómo?, 6) quiénes?, 7) cuándo? (Pahl y Beitz, 2007; Ulrich y Eppinger, 2013; Cross, 2002; Kaminski, 2000; Dym *et al.*, 2014; Dieter y Schmidt, 2020; Pugh, 1991; Miles, 2015; Vernadat, 1996; Chorafas, 2001).

En la Figura 51, se representa la manera como se debe presentar un proyecto de ingeniería que es una parte fundamental del proyecto en sí.

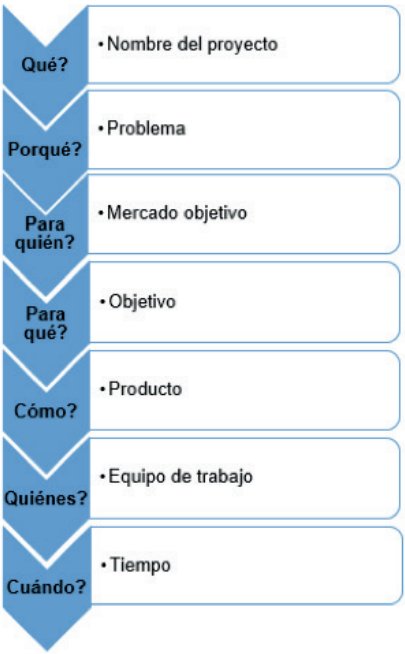


Figura 51. Formulación de un proyecto de ingeniería

Respondamos estos cuestionamientos.

- ***Qué?.*** Nombre del proyecto de ingeniería, para definir el nombre del proyecto, se debe tener en cuenta: 1) es la forma en que se denomina el proyecto, 2) debe involucrar de alguna manera la idea principal de la propuesta, sin pretender contar el proyecto en el título, 3) debe ser corto, y generar recordación, 4) es aconsejable que el título del proyecto sea lo último que se proponga, una vez se tenga claro lo que se quiere lograr en el proyecto.

- ***Porqué?.*** Problema, necesidad u oportunidad identificada en el mercado. En esta etapa se busca comunicar la importancia que tiene el desarrollo del proyecto de ingeniería propuesto, y el impacto que tendrán los resultados obtenidos. Es necesario demostrar que el equipo de trabajo conformado ha hecho una exploración previa del problema a resolver, y responder como mínimo a: 1) su magnitud, 2) su impacto, 3) las posibles soluciones existentes.

  Por esto, se espera que la descripción del problema u oportunidad incluya algunos datos estadísticos que reflejen su magnitud, y las fuentes de información que se utilizaron en la exploración de dicho problema.

  Considere que la función primordial del planteamiento del problema de un proyecto de ingeniería, se basa en describir la situación actual del problema detectado, las dificultades o discrepancias entre lo que es la situación actual y lo que debe ser el proyecto; y las posibles consecuencias de que la situación actual persista.

- ***Para quién?.*** Mercado objetivo. Un mercado objetivo es el conjunto de consumidores potenciales que comparten un deseo o una necesidad, y que por lo tanto podrían estar dispuestos a adquirir un determinado producto, equipo, elemento, dispositivo o servicio para satisfacerlo. Se debe describir ese grupo de consumidores que el equipo de trabajo identifica como mercado objetivo para el producto que se desarrollará en el proyecto de ingeniería, y al que se dirigirían las estrategias de marketing, una vez se esté en capacidad de salir al mercado.

Para definir el mercado objetivo, es necesario:

- Investigar quiénes son los potenciales clientes: características demográficas, socioeconómicas, de género, edad, gustos o preferencias, entre otras; dónde están y por qué pueden estar interesados en su producto o servicio.

- Analizar las distintas personas que intervienen en el proceso de compra. Identificar aquellos que realizarían la compra del producto o servicio. Considerar que a menudo el comprador y la persona que tiene la necesidad o que será el consumidor final del producto o servicio no son la misma persona.

- Revisar la tendencia de este mercado: Si es un mercado en crecimiento, si es estable o si se prevé un retroceso.

- Dimensionar el mercado y la competencia a la que se va a enfrentar. Para presentar el proyecto de ingeniería es recomendable incluir cifras que indiquen la dimensión de este mercado.

- ***Para qué?.*** Objetivo general. Indicar el propósito final que se está persiguiendo en el proyecto de ingeniería, a dónde se pretende llegar y qué se quiere lograr. El objetivo debe expresarse con un propósito evaluable y debe estar determinado en un espacio de tiempo. Como son acciones que, al momento de escribirlas, aún no se han realizado, se redactan siempre con verbos en infinitivo; es decir, terminados en ar, er, ir.

Para formular el objetivo general, se sugiere contestar las siguientes preguntas:

- ¿Qué se va a hacer? Es decir, cual es la acción principal que se va a realizar durante el proyecto de ingeniería, redactada con un verbo en infinitivo.
- ¿Para qué? Es decir, lo que se espera obtener como resultado global.
- ¿Cuándo y cuánto tiempo se va a operar? Es decir, el periodo para el desarrollo del proyecto de ingeniería.
- ***Cómo?.*** Producto que resuelve la oportunidad o problema identificado. Se deberá hacer una definición o descripción clara y precisa del producto que se quiere desarrollar, destacando aquellos aspectos que se consideran atractivos para captar la atención de los posibles clientes. También se deberá explicar las diferencias entre el producto a desarrollar y los productos similares de la competencia.

Algunos conceptos importantes para tener en cuenta:

- La propuesta de valor materializa la estrategia del proyecto para el segmento de clientes, describiendo la combinación única de producto, precio y servicio.
- Se debe comunicar aquello que el proyecto de ingeniería espera hacer mejor o de manera diferente que la competencia para sus clientes.
- Describir cómo la solución ofrecida da respuesta a los problemas de los clientes potenciales y satisface sus necesidades.
- Un proyecto de ingeniería puede ofrecer varias alternativas de valor relacionadas o independientes, dirigidas a uno o varios grupos de clientes objetivo.
- ***Quiénes?.*** Equipo de trabajo. Considere para la formación del equipo de trabajo, que deben existir capacidades y experiencias complementarias entre los miembros en términos de: 1) perfil profesional, 2) conocimiento del sector, 3) experiencia, 4) el rol que cada integrante del equipo de trabajo tendrá en el desarrollo del proyecto.
- ***Cuándo?.*** Tiempo requerido para desarrollar la solución del proyecto. En esta sección debe incluirse el detalle de las actividades a desarrollar durante el proyecto, incluyendo la duración de las mismas. Incluya en el proyecto de ingeniería lo siguiente:
- Las principales actividades del proyecto organizadas jerárquicamente.
- El esfuerzo estimado de cada actividad en horas-hombre, definir los recursos

a disponer para cada una de las actividades, y con esto calcular la duración de las tareas.

- Es recomendable elaborar un calendario donde se manejen los tiempos y las actividades; empleando un cronograma, que incluya fechas, actividades y responsable.

Se presentarán a continuación varias aplicaciones proyectos de ingeniería de sistemas mecánicos, los cuales se esbozan de forma básica y general para que puedan ser empleados por docentes, estudiantes de ingeniería e ingenieros y puedan a partir de estas bases iniciales, continuar y complementar estos ejercicios prácticos desde las aulas, talleres, prácticas y laboratorios.

Sobre estas aplicaciones se pueden emplear las diversas metodologías, métodos, modelos, herramientas de proyectos de ingeniería y de diseño de sistemas mecánicos (Pahl y Beitz, 2007; Ulrich y Eppinger, 2013; Cross, 2002; Kaminski, 2000; Dym *et al.*, 2014; Dieter y Schmidt, 2020; Pugh, 1991; Miles, 2015; Vernadat, 1996; Chorafas, 2001), que permitirán durante el periodo académico de un curso o asignatura de proyectos de ingeniería desarrollar y obtener grandes resultados, con aprendizajes significativos.

3.2 TRICICLO DE DERRAPE

Los triciclos de derrape como son conocidos en hispanoamericana son catalogados como un deporte de inercia que consiste en descender puertos de montañas o carreteras inclinadas, bajo una velocidad entre 60 km/h y 100 km/h (Polideportes, 2021). El *Drift trike* es un deporte de velocidad que está vinculado a la cultura de los jóvenes amantes a la velocidad, a los cuales le gusta conducir vehículos de manera extrema para generar en el público una mayor atención y entretenimiento.

Este deporte abarca toda clase de edad y sexo. Promover la seguridad entre los participantes y en los competidores es muy importante dependiendo el estilo que se practiqué, ya sea velocidad o destreza (Polideportes, 2021).

Generar un proyecto en donde los desarrolladores se motiven, se cautiven, se vinculen con el producto final y que puedan a la vez disfrutarlo, es una forma muy acertada para integrar un equipo de trabajo alrededor de un proyecto de ingeniería para estudiantes en formación.

El *Drift trike* como deporte contemporáneo fue creado a principios del siglo XXI en Nueva Zelanda, y promovido por los amantes a los automóviles y los derrapes, el *Drift trike* ha tomado gran popularidad en países como: Estados Unidos, Colombia, Salvador, México, España, Francia y China.

Un triciclo de derrape es básicamente un vehículo tipo triciclo que se es empleado para descender una pendiente subido en el triciclo y que tiene un diseño especial en las ruedas traseras que permite hacer derrapes y una serie de maniobras con el vehículo

y estando en el se logran alcanzar velocidades considerables, La configuración de las ruedas del triciclo de derrape, es de tipo delta, teniendo una rueda simple adelante y dos atrás (1F2R), esta configuración tienen sus ventajas y desventajas como se describirá a continuación. Un triciclo de derrape, es un triciclo recostado, en su parte trasera tiene dos neumáticos dentro de un recubrimiento en PVC de alta presión y el frente tiene accesorios de bicicleta. El recubrimiento tiene la finalidad de disminuir el agarre y permitir el derrape, el cual es un modo de conducción en el que se busca llevar del vehículo de costado logrando un ángulo de 90° grados o más (By y Horwitz, 2010; Morales, 2020; Ortiz, 2017).

Las principales ventajas de este tipo de configuración son:

- Fácil de diseñar, puesto que se siguen conceptos muy semejantes a los de una bicicleta convencional para su respectiva manufactura.
- Menores costos de manufactura, puesto que la gran mayoría de accesorios requeridos, son similares a los accesorios de las bicicletas convencionales.

Dentro de sus principales desventajas se encuentra que:

- Presenta un momento de inercia bastante rápido, lo que causa un excesivo rodamiento y un posible volcamiento del vehículo en las curvas, esto se puede corregir agregando mecanismos de direccionamiento reclinables.
- El frenado de todo el triciclo de derrape recae principalmente sobre la rueda delantera, la cual debe soportar todas las fuerzas inerciales en el proceso de desaceleración del triciclo.

Existen asociaciones que organizan campeonatos internacional alrededor del deporte de *Drift trike*, incluso existe una revista *on line* llamada *Driftrike world magazine* (Driftrike, 2015) dedicada a este deporte.

El objetivo de este proyecto de ingeniería es diseñar un triciclo de derrape que atienda las especificaciones técnicas para ser un vehículo de competición, seguro e innovador; que se pueda dividir en subsistemas que conforman el vehículo, generando alternativas viables de solución que conlleven a la manufactura del triciclo de derrape.

En la Figura 52, se representan algunas imágenes de triciclos de derrape comerciales, preparados para una competencia nacional.

Figura 52. Representaciones de triciclos de derrape

En la Figura 53, se observa más en detalle la configuración y diseño de un triciclo de derrape, marca Razor, cuyas dimensiones generales son 35,5” x 30,39” x 55,59”; con un peso estimado de 8,8 kg; se destacan su componentes de chasis, una rueda delantera con freno al lado izquierdo, dos ruedas traseras para derrape y asiento.

Figura 53. Detalles de la configuración y diseño de un triciclo de derrape, marca: Razor (Razor, 2023)

3.2.1 Especificaciones de diseño

Atendiendo en principio de funcionamiento del vehículo triciclo de derrape, este es dividido en seis subsistemas los cuales permiten definir el problema de diseño: 1) subsistema chasis, 2) subsistema ruedas, 3) subsistema asiento, 4) subsistema dirección, 5) subsistema frenos, y 6) subsistema eje trasero y elementos complementarios.

El conjunto de requerimientos de los seis subsistemas proyectados comprenden las especificaciones de diseño para el triciclo de derrape. Se debe dedicar cierto esfuerzo para establecer las especificaciones exactas en las primeras fases del proyecto de ingeniería.

Inicialmente las especificaciones fijan ciertos límites al espacio de soluciones dentro del cual el ingeniero debe buscar. Posteriormente, en el proceso del proyecto, las especificaciones pueden emplearse para evaluar las alternativas de solución propuestas y para verificar que están dentro de un límite de solución aceptable.

Las especificaciones del proyecto ayudan a definir el problema de diseño, dejando suficiente libertad para que el ingeniero tenga espacios de maniobra en las formas y medios para obtener una solución satisfactoria (Cross, 2002).

En la Tabla 18, se resumen las especificaciones que se proyectan para el diseño del triciclo de derrape, dividido en los subsistemas que se conformaron para integrar el triciclo de derrape, aquí se diferencian los requerimientos que son obligatorios y los que son deseables. Los obligatorios son requerimientos que deben satisfacerse, mientras que los requerimientos deseables son aquellos que el cliente o el ingeniero desearía satisfacer en caso de ser posible.

Tabla 18. Especificaciones de diseño para el triciclo de derrape

Especificaciones del subsistema chasis	
Obligatorio D deseable d	**Descripción del requerimiento**
D	Estructura con capacidad para 150 kg
D	Ancho del chasis 700 mm aproximadamente
D	Largo del chasis 1200 mm aproximadamente
D	Soportar impactos
D	Apoyo para los pies de 150 mm aproximadamente
D	Alto del chasis 650 mm aproximadamente
D	Costo de fabricación del chasis máximo $USD 50
d	Pesos aproximado del chasis 4 kg a 5 kg
d	Fabricación con tubería de aluminio
d	Sistema articulado en la mitad del chasis para facilitar el transporte
Especificaciones del subsistema ruedas	
D	Debe tener tres ruedas principales; dos traseras compuesta cada una de dos ruedas secundaria y una rueda delantera
D	Las ruedas deben soportar velocidades máximas de 70 km/h - 80 km/h
D	Del total de las piezas del subsistema, los elementos comerciales deben estar entre un 80% - 90%
D	Fabricación con la mayor confiabilidad posible
D	Dimensiones: Ruedas traseras principales deben tener un ancho entre 150 mm - 250 mm
D	Dimensiones: Ruedas traseras debe tener un diámetro entre 8” - 10”, para facilitar que sean comerciales
D	Dimensiones: Rueda delantera debe tener un diámetro de 20”, para conseguir una altura ergonómica en la dirección
D	Cada rueda debe tener la capacidad de soportar entre 150 kg - 200 kg de peso
d	El subsistema total de las ruedas debe pesar entre 8 kg - 15 kg
d	El costo de compra o fabricación del subsistema de ruedas no debe superar los $USD 62,5 dólares americanos
d	Bajo costo de mantenimiento y reparación sencilla
d	Ruedas totalmente desmontables
d	Rueda delantera preferiblemente de bicicleta *cross*, para facilitar que la misma sea comercial
d	El triciclo pueda derrapar en una rueda
d	No se requiera de muchas herramientas en caso de que se necesite ensamblar-desensamblar en lugares con pocos recursos
d	Apariencia y colores de las ruedas agradables, estética
Especificaciones del subsistema asiento	
D	Carga máxima entre 100 kg - 120 kg
D	Ergonomía y comodidad
D	Dimensiones del asiente. Largo entre 300 mm - 400 mm, ancho entre 400 mm - 450 mm

D	Peso máximo del asiento entre 2 kg - 2,5 kg
D	Piezas y elementos comerciales
D	Regulación de la posición del asiento respecto a la dirección
D	Costo del asiento entre $USD 20 - $USD 25 dólares americanos
D	Resiste al impacto
d	Conexión silla - chasis removible
d	Regulación del ángulo de la inclinación del sillín
d	Regulación móvil vertical entre 50 mm - 100 mm con respecto al chasis
d	Poseer elementos de seguridad tipo cinturón
d	Espaldar del asiento regulable 150 mm
d	Amortiguación vertical tipo resortes o amortiguadores
d	Emplear materiales como polímeros, madera, compuestos
	Especificaciones del subsistema dirección
D	Tenedor y manubrio 95% comercial
D	Manubrio longitud de 500 mm a 700 mm y una altura de 100 mm a 150 mm
D	Maniguetas de goma u otro
d	Protección de manos
d	Desmontable, espiga de seguridad
D	Tenedor para un rin de 20” con soportes para freno
d	Permitir cambiar las posiciones de manejo (espiga)
D	Espacio para leva del freno delantero
D	Manubrio fabricado en aluminio o carbono
D	Diámetro de la tubería entre 25 mm y 30 mm
D	Horquilla fabricada en acero bajo carbono o aluminio
	Especificaciones del subsistema frenos
D	Freno tipo: herradura, *bibrake*, disco mecánico, disco hidráulico
D	Fijación del rotor a la manzana , tipo: tornillos o *center lock*
D	Rotor entre 160 mm, 180 mm, 203 mm
D	Posición de la leva en el manubrio en el lado izquierdo
D	Cambio de pastas cada tres meses con un uso promedio de una vez por semana
D	Mantenimiento sistema hidráulico, cambio de líquido hidráulico en caso de necesitarse cada seis meses
d	Disco hidráulico
d	Fijación por tornillos
d	Diámetro del rotor 180 mm
d	Adaptador para rotor de 180 mm
	Especificaciones del subsistema eje trasero y elementos complementarios
D	Peso del eje trasero inferior aproximadamente 4 kg
D	Diámetro del eje trasero mínimo ½” y máximo ¾”
D	Eje trasero fabricado en acero de medio carbono
D	100% tornillería comercial

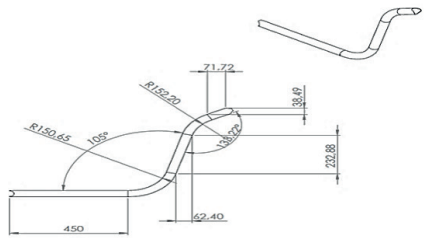
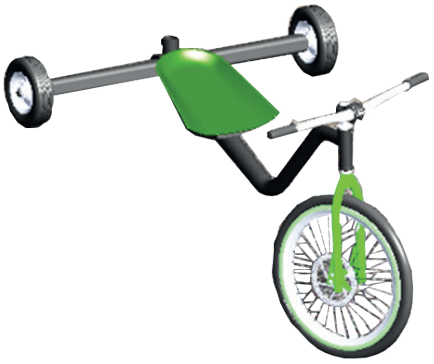
D	Espacio en el eje trasero para tuercas de seguridad
D	Espacio en el eje trasero para tuercas ciegas en los extremos
D	Eje trasero desmontable
D	Apoya pies fijos ubicados en el eje delantero
D	Largo del eje trasero mínimo 1000 mm y máximo 1200 mm
D	Costo total del eje trasero y elementos complementarios no superior a $USD 50 dólares americanos
d	Campana de bicicleta
d	Diseño de logos
d	Base anticorrosiva y pintura electrostática para el acabado final del chasis y del eje trasero

3.2.2 Diseño conceptual

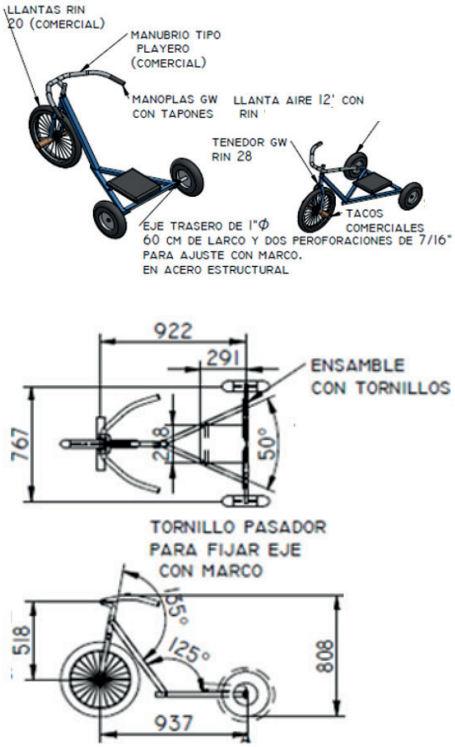
En el proceso de todo proyecto es vital generar una serie de diseños alternativos que den solución al problema, para finalmente con estos conceptos tomar decisiones, las cuales se pueden tomar sobre la solución general o sobre soluciones secundarias para incorporarlas en el diseño final.

Se presentan de manera general tres alternativas de solución para el diseño del triciclo de derrape y que se pueden observar en la Tabla 19, de estos conceptos se seleccionó la mejor alternativa de solución, mediante un procedimiento abierto, para evaluar su validez, involucrando ingenieros y otras personas implicadas con el proyecto como lo son los clientes, gerentes, colegas y todos los miembros del equipo de trabajo; en donde se verifican las alternativas de diseño contra los criterios establecidos en las especificaciones de diseño (Cross, 2002).

Tabla 19. Alternativas de solución para el diseño del triciclo de derrape (Álvarez *et al.*, 2015; Cárdenas *et al.*, 2015; Zuluaga *et al.*, 2015; Vargas *et al.*, 2015)

Alternativa # / Descripción	Representación gráfica de la alternativa
Alternativa 01 triciclo de derrape funcional / Vehículo de tres llantas, de las cuales las dos traseras se encuentran recubiertas de PVC con el propósito de disminuir el agarre y permitir el derrape, modo de conducción en el que se busca llevar el vehículo de costado logrando un ángulo de 90° o más. Se hace énfasis en el diseño innovador del chasis con tubo de refuerzo: longitud a 840 mm, empleando un doblez con un ángulo de inclinación de 133,22° entre la parte delantera del chasis y el tubo de dirección y uno de 105° entre la parte delantera del tubo y el lugar donde se acopla la silla, diseño de la silla ergonómica. Selección del tipo y diámetro de llantas traseras y diseño del eje trasero. PVC de diámetro de 8" x largo 900 mm. Selección de elementos comerciales: dirección delantera del triciclo, tenedor, pistas y balineras superiores e inferiores de dirección, espiga y sus componentes, poste de la espiga, maniguetas, llanta delantera con su respectivo neumático y manubrio. Tornillería comercial: dos tornillos de designación grado 8 - rosca M10 x 1,5 de cabeza hexagonal para el acople de ambas llantas al eje trasero; dos de grado 8 - rosca M16 x 1,5 de cabeza hexagonal para el acople mecánico del eje trasero con el chasis, tuercas de seguridad	 Plano del chasis
Alternativa 02 mono *trike* / Diseño del triciclo de derrape proyectado y desarrollado pensando en que le permita al usuario experimentar una actividad divertida y cargada de adrenalina, brindándole seguridad y confianza. Diseño de un vehículo confortable, económico y de construcción simple. Proyectado para construir una estructura rígida que cumpla con la función de soportar las cargas generadas por las altas velocidades. Diseño del triciclo primando la seguridad del usuario. Diseñado que permita al triciclo ser ensamblado y desmontado rápida y fácilmente	

Alternativa 03 Triciclo de derrape /
El proceso concepción de esta alternativa inició revisando el estado del arte, para lo cual se emplearon videos publicados en *internet* se realizaron consultas de antecedentes de estos vehículos, se definió emplear un perfil cuadrado para la fabricación del chasis de aproximadamente 1 ½", debido a facilidad que presenta soldar este tipo de perfil en ausencia de matrices. La característica a destacar de este concepto es el diseño de su chasis tanto en su configuración geométrica como por el tipo de perfil que se emplea, buscando una construcción fácil, con el uso del proceso de soldadura para manufacturar todo el chasis, sin el uso de elementos doblados. Se tiene el concepto de emplear materiales reciclados para el asiento, las llantas traseras junto con sus ejes que serían dos pernos de diámetro ¾", tren delantero, rueda delantera. Implementar tubería PVC para las llantas traseras, que consiste en tubería de alta presión con un diámetro interno de 10"



Alternativa seleccionada /
A partir de las tres alternativas propuestas se recogen todas las ventajas y se reúnen en este diseño seleccionado que cumple con todas las especificaciones de diseño que además es innovador, versátil, segura, confortable, de fácil manufactura, elegante, con un estilo vanguardista, y de bajo costo

3.2.3 Diseño de detalle

El diseño de detalle final del triciclo de derrape, está conformado por un total de 49 elementos principales, los cuales se detallan en la Tabla 20 y se representan gráficamente en la Figura 54.

Tabla 20. Detalles de los elementos que conforman el triciclo de derrape

Ref.	Descripción	Cantidad	Material / Especificaciones
1	Chasis principal	1	Acero al carbono / Tubería 1 1/2” calibre 14
2	Trompo de dirección	1	Acero al carbono / Trompo de dirección estándar
3	Eje trasero	1	Acero al carbono / Tubería 1 1/2” calibre 14
4	Tornillo unión chasis	2	Comercial / Hexagonal M10 x 70mm
5	Arandela unión chasis	4	Comercial / Arandela M10
6	Tuerca unión chasis	2	Comercial / Hexagonal M10
7	Sistema de rieles 1 silla	1	Comercial / Rieles ajuste silla de carro
8	Sistema rieles 2 silla	1	Comercial / Rieles ajuste silla de carro
9	Silla	1	Comercial / espuma y lona sintética
10	Tornillo silla	2	Comercial / Hexagonal M6 x 35mm
11	Tornillo sistema rieles	4	Comercial / Hexagonal M6 x 45mm
12	Tuerca sistema rieles	6	Comercial / Hexagonal M6
13	Buje separación menor	2	Acero galvanizado / ϕ = 3/4” L = 20 mm
14	Rueda trasera	4	Comercial / Rueda IMSA de diámetro 8” 2,50/2,80
15	Tubo de PVC	2	PVC / Tubo PVC 8” x 200 mm, espesor 10 mm
16	Buje separación mayor	2	Acero galvanizado / ϕ = 3/4” L = 80 mm
17	Arandela tuerca seguridad	2	Comercial / Arandela 5/8”
18	Tuerca de seguridad	2	Comercial / Tuerca de seguridad 5/8”
19	Tenedor	1	Comercial / Tenedor estándar rin 20”
20	Llanta delantera	1	Comercial / 20”x 2,125 *freestyle*
21	Rin delantero	1	Comercial / Rin 20” aluminio triple pared, 36 radios estándar rin 20”
22	Manzana de potencia	1	Comercial / Manzana freno de disco
23	Eje Manzana de potencia	1	Comercial / Manzana freno de disco
24	Tuerca de manzana	2	Comercial / Manzana freno de disco
25	Pista inferior 1 dirección	1	Comercial / Pista inferior 1 dirección
26	Balinera inferior dirección	1	Comercial / Balinera inferior dirección
27	Pista inferior 2 dirección	1	Comercial / Pista inferior 2 dirección
28	Pista superior 1 dirección	1	Comercial / Pista superior 1 dirección
29	Balinera superior dirección	1	Comercial / Balinera superior dirección
30	Pista superior 2 dirección	1	Comercial / Pista superior 2 dirección
31	Tope superior dirección	1	Comercial / Tope superior dirección
32	Poste	1	Comercial / poste para espiga
33	Cuña de poste	1	Comercial / Cuña de poste
34	Tapa de poste	1	Comercial / Tapa de poste
35	Tornillo de poste	1	Comercial / Tornillo Bristol M8 x 130 mm
36	Espiga	1	Comercial / espiga *oversize zoom*
37	Tornillo de espiga	6	Comercial / Tornillo Bristol M5 x 16 mm

38	Arandela de espiga	6	Comercial / Arandela M5
39	Manubrio	1	Comercial / *oversize* GW 600 mm
40	Sistema freno hidráulico	1	Comercial / Shimano BL-M505
41	Tornillos sistema freno	2	Comercial / Tornillo Bristol M5 x 10 mm
42	Adaptador mordaza	1	Comercial / *Postmount* estándar
43	Tornillos adaptador	2	Comercial / Tornillo Bristol M5 x 10 mm
44	Rotor	1	Comercial / Baradine Db-05, 180 mm
45	Tornillos de rotor	6	Comercial / Tornillo Bristol M5 x 5 mm
46	Maniguetas	2	Comercial / Maniguetas GW
47	Tapones chasis	4	Comercial / Tapones de caucho de diámetro 1-1/2”
48	Campana	1	Comercial / Campana de bicicleta
49	Tacos	2	Comercial / Tacos para BMX estándar

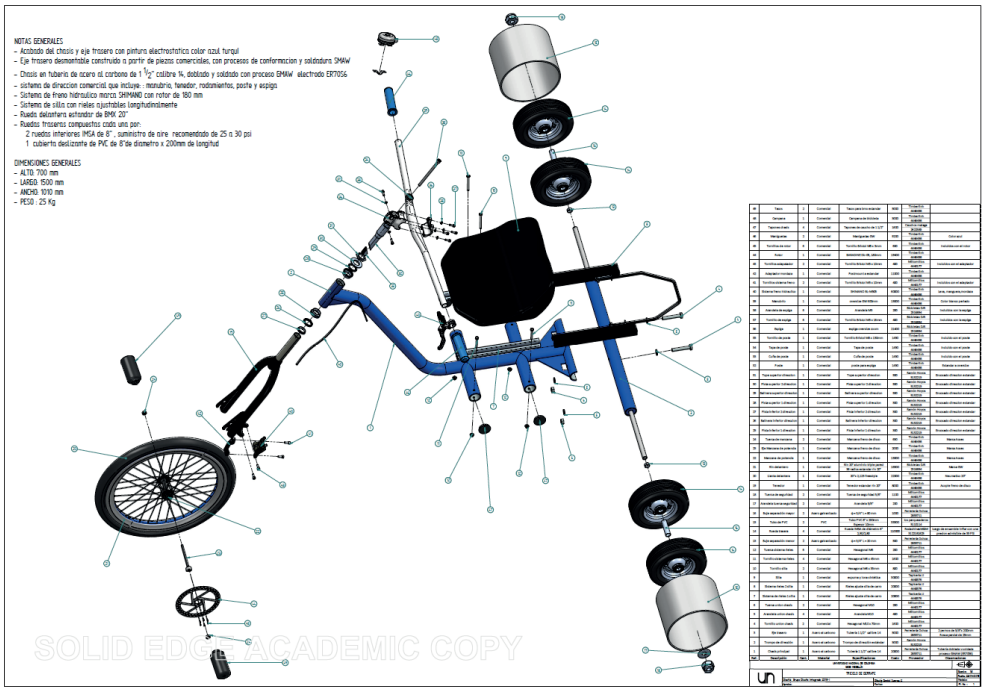
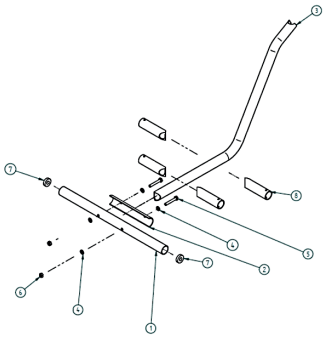
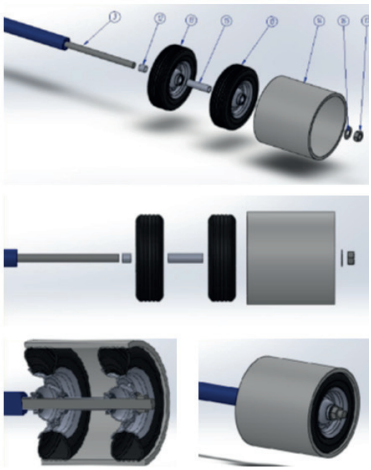
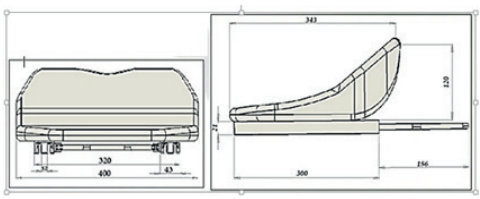
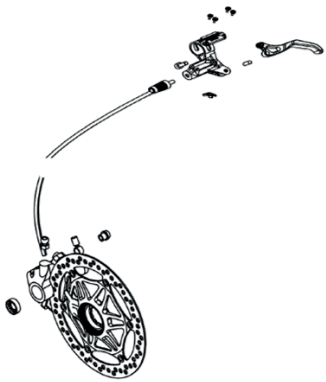
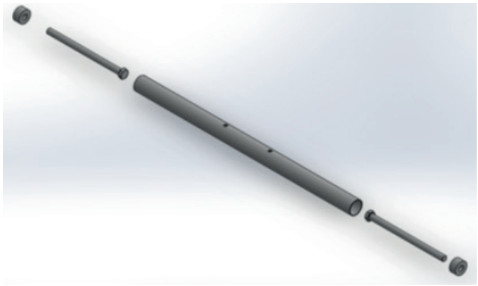


Figura 54. Plano general del triciclo de derrape (Vargas *et al.*, 2015)

Mediante la Tabla 21, se complementa el diseño de detalle del triciclo de derrape, mediante el diseño de detalle de cada uno de los seis subsistemas que forman parte del vehículo.

Tabla 21. Diseño de detalle de los subsistemas del triciclo de derrape (Vargas *et al.*, 2015)

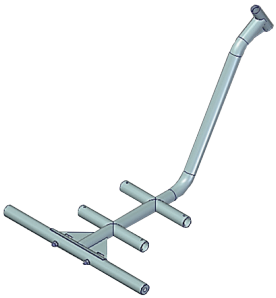
Subsistema / Descripción del diseño de detalle	**Diseño de detalle**
Subsistema chasis / Se realizó el diseño el chasis del triciclo de derrape, cumpliendo con los requerimientos de diseño establecidos. Se consideraron desde el diseño los materiales necesarios y existentes localmente para la construcción, se evaluó el proceso de doblado de la tubería para lograr la forma y geometría diseñada, la tubería fue seleccionada considerando el proceso de soldadura que debe aplicarse para unir las partes que conforman en chasis	 Item / Nombre de la pieza / Cantidad 1 / Tubo tren trasero / 1 2 / Acople tren trasero y Tubo central / 1 3 / Tubo central / 1 4 / Arandela plana M10 / 4 5 / Tornillo cabeza hexagonal rosca parcial M10 / 2 6 / Tuerca hexagonal M10 / 2 7 / Tapa eje trasero / 2 8 / Tubería de apoyo asiento / 4
Subsistema ruedas / El diseño del subsistema de las ruedas traseras y delanteras del triciclo de derrape, es alcanzado utilizando el mayor número de piezas comerciales con el fin de reducir costos y tiempo de fabricación	 Montaje ruedas traseras
Subsistema asiento / Con el fin de cumplir con los requerimientos solicitados para el asiento, se evaluaron varias alternativas de diseño, para lograr en el asiento el desplazamiento longitudinal como: pernos de ajuste a presión, sistema de intercambio agujeros-tornillo y rieles de trinquete , estos últimos resultan ser los más efectivos a la hora de ensamblar la silla al chasis, al igual que brindan facilidad en el accionamiento del mecanismo	

Subsistema dirección / Para la elaboración del diseño del sistema de dirección se partió de lista de requerimientos haciendo distinción entre los requerimientos obligatorios y los deseables, luego se realizaron los diseños previos del subsistema contemplando el sistema del triciclo de derrape completo de acuerdo a todas las especificaciones. Definidos los requerimientos y las formas que debe tener cada componente del subsistema de dirección, se inicia la etapa de cotización de la fabricación de las piezas y la cotización de las piezas comerciales, de acuerdo a la información obtenida se define la compra de las piezas comerciales de bicicletas, ya que son más económicas y cumplen con los requerimientos del proyecto	
Subsistema frenos / El diseño comercial seleccionado está compuesto por: disco hidráulico, fijación del rotor a la manzana por tornillos, diámetro del rotor 180 mm, posición de la leva en el manubrio en el lado izquierdo	
Subsistema eje trasero y elementos complementarios / El diseño de detalle de este subsistema corresponde al diseño y fabricación del eje trasero, selección y compra de los elementos de sujeción y acabados estéticos del mismo	 Vista explosionada del eje trasero

3.2.4 Manufactura

En las Tabla 22, se representan algunos detalles de la manufactura del triciclo de derrape en cada uno de sus subsistema que conforman el vehículo y en las Figuras 55 y 56 el estado final del triciclo de derrape completamente ensamblado y funcional.

Tabla 22. Manufactura de los subsistemas del triciclo de derrape (Vargas *et al.*, 2015)

Subsistema / Descripción de la manufactura	**Manufactura**
Subsistema chasis / Adquisición de tubería negra, acero AISI 1008 de diámetro 1 ½” calibre 14. Realización de dobleces con proveedor local por medio de dobladora hidráulica. Cortes por medio de sierra sin fin y manuales para fabricar eje trasero. Soldadura por procesos GMAW de la estructura, con esto se finalizó la fabricación inicial del chasis. Corte y fabricación por medio de sierra sin fin y pulidora de soportes para el chasis. Soldadura por proceso SMAW de soportes al chasis estructura	
Subsistema ruedas / El subsistema de las ruedas traseras y delanteras del triciclo de derrape, es realizado con piezas comerciales con el fin de minimizar tiempo de fabricación y facilidad de montaje. Recubrimiento de las ruedas traseras con tubo de PVC de diámetro exterior 9”, diámetro interior 8” espesor 10 mm, largo 200 mm. Cuatro ruedas traseras IMSA de diámetro exterior 8”. Una llanta delantera 20” x 2,125 *freestyle* con su respectivo rin de 20” aluminio triple pared con 36 radios	
Subsistema asiento / El asiento se fabricó sobre una base plástica, tapizado con una lona sintética y acolchado con espuma a fin de brindar comodidad y confort al piloto. El sistema de desplazamiento del asiento es comercial, y es usado para el ajuste de posición en asientos de ciertos automóviles	
Subsistema dirección / Subsistema de dirección comercial, tenedor estándar para rin 20” montado en rin delantero 20” aluminio triple pared, 36 radios estándar rin 20 con llanta delantera 20” x 2,125 *freestyle*, manubrio comercial *oversize* GW 600 mm con maniguetas GW comerciales	

Subsistema frenos /
Disco de freno hidráulico comercial, montado en rin de 20” aluminio triple pared de la rueda delantera, fijación del rotor Baradine Db-05, 180 mm a la manzana por tornillos, diámetro del rotor 180 mm, posición de la leva en el manubrio en el lado izquierdo

Subsistema eje trasero y elementos complementarios /
Haciendo uso de una sierra sin fin se cortó una sección de 750 mm de tubería calibre 14 y diámetro 1½”, posteriormente se perforaron dos agujeros en el taladro de banco a una distancia de 200 mm.
Disco de acero 1020 maquinado a partir de un cilindro sólido de material, perforación pasante de diámetro 5/8”.
Por medio del proceso de soldadura SMAW se unió el disco a la cabeza del tornillo 5/8” x 200 mm.
Unión entre el disco y tornillo al eje hueco de 1 ½” de AISI 1008, inicialmente se realizó un ajuste a presión entre el disco y el eje hueco, posteriormente se fijaron por medio de soldadura SMAW

a)

b)

Figura 55. Triciclo de derrape: a) ensamble y ajustes de todos los subsistemas del triciclo de derrape, b) presentación final del triciclo de derrape

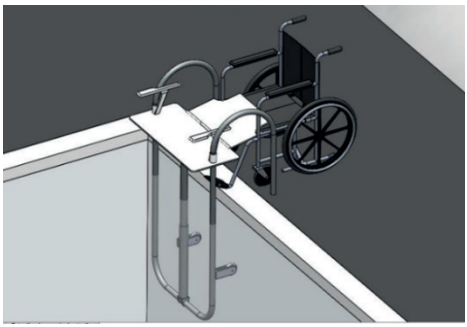
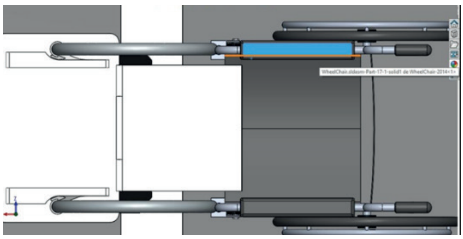
Figura 56. Triciclo de derrape con acabado superficial estético en pruebas de pista

3.3 OTRAS APLICACIONES DE PROYECTOS DE SISTEMAS MECÁNICOS

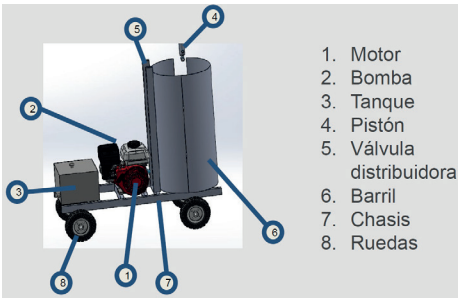
Se presentan a continuación una serie de retos de proyectos de ingeniería de sistemas mecánicos con especificaciones iniciales de diferentes tipos de aplicaciones y que ya han sido validados por el autor y que pueden emplearse en diferentes cursos, contenidos, seminarios, talleres, laboratorios o asignaturas de proyectos de ingeniería, con diferentes propósitos; y que serán de gran utilidad para validar conceptos, teorías o fundamentos de ingeniería, y a la vez sean un insumo importante para poder completar los ejercicios planeados según los objetivos que se pretendan.

En la Tabla 23, se representan las otras aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos.

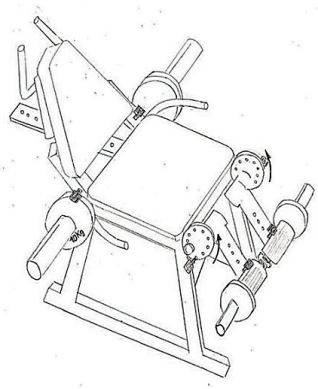
Tabla 23. Otras aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos

Título sugerido del proyecto / Descripción o requerimientos u objetivos de la aplicación	**Representación gráfica, concepto inicial**
Elevador de acceso a piscinas para discapacitados (Rivas *et al.*, 2017) / La implementación de un sistema elevador para el acceso de personal discapacitado a las piscinas es ideal, estos son fáciles de acoplar en la mayoría de las instalaciones de piscinas y cumplen perfectamente la función de cuidar la integridad del paciente y facilitar su ingreso y salida de la piscina. El proyecto es de gran impacto social ya que beneficiaría a las personas con algún grado de discapacitado, que corresponden a casi el 7% de la población en Colombia; además, de adultos mayores que llegan al 11% de la población. Especificaciones y características: funcionamiento mediante un embolo oleo hidráulico; que se acople a la piscina mediante dos orificios realizados a la medida de los tubos del mecanismo en el borde de esta, de tal forma de que el elevador sea fácilmente desmontable; soportar una persona con un peso máximo de 180 kg; velocidad de subida y bajada de 5 cm/s; poseer ruedas para su fácil desplazamiento hacia y desde la piscina; que tenga la posibilidad de que el usuario elija la forma de uso, ya sea como escalera de pie o como elevador sentado; silla desplegable que permita al usuario un sencillo desplazamiento desde su silla de ruedas hacia el elevador; el dispositivo de contener un dispositivo de control que le permita a los usuarios accionarlo sin importar si están dentro o fuera de la piscina y la silla del dispositivo se encuentre en el lado contrario	 

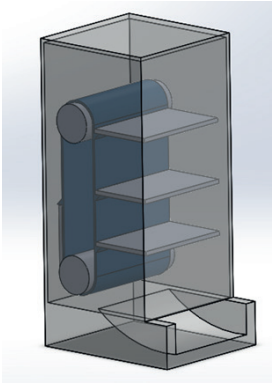
Dispositivo para el ensilaje (Núñez *et al.*, 2021) /
Diseñar y manufacturar un dispositivo para el ensilaje móvil, con materiales comerciales y de bajo costo para el ensilado de forraje en departamento de Sucre - Colombia.
Lista de requerimientos:
Condiciones de trabajo: las mismas que las relativas al uso de toda herramienta utilizada en el campo y de uso pesado, requiere una sola persona para la utilización, requiere máximo dos personas para la utilización, la máquina se debe poder operar *in situ*; dimensiones: debe poder albergar bolsas de 120 litros, diseño telescópico para fácil transporte; peso: lo más liviano posible para fácil transporte, máximo 30 kg, soportado en ruedas; mantenimiento: el mínimo posible, repuestos fáciles de encontrar; uso: requiere esfuerzo mínimo de los operarios, máximo 4 kgf; durabilidad: factor de seguridad alto para asegurar un buen funcionamiento en el área agrícola; seguridad: contiene protección contra accidentes relacionados con las partes móviles y la temperatura; estética: pintura, composición o acabados anticorrosivos; producción: una sola ensiladora a modo de piloto, documentación necesaria para una posterior replicabilidad; precio: menor a $USD 125



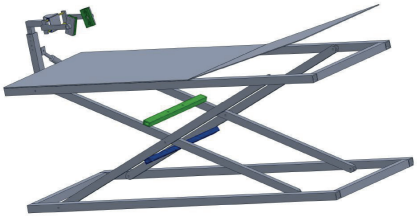
Máquina para flexión y extensión de rodilla (Arroyave *et al.*, 2021) /
Problema de diseño: ausencia de equipos o máquinas que reúna la mayor cantidad de ejercicios para pierna; refiriéndose a la pierna en general, integrada por todos sus músculos.
Requisitos: accesible para usuarios de cualquier altura, cómodo en los movimientos inherentes a cada ejercicio.
Necesidades: sintetizar ejercicios para pierna y que la máquina se desempeñe lo más ergonómicamente posible, poder cambiar tanto de peso como el tipo de ejercicio dentro de unos niveles previamente establecidos



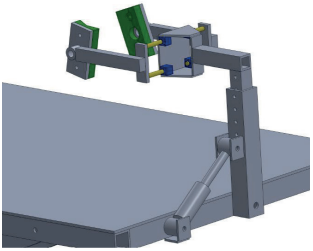
Caracteristicas: mercado principal viviendas, sistema de peso por medio de discos, posición sentado y acostado, se trabajan los músculos de isquiotibial y cuádriceps, gama media

Dispensador automático de alimento refrigerado para mascotas (Arango *et al.*, 2021) / Diseñar un dispositivo de alimento húmedo que entregue a la mascota su alimento fresco, en la cantidad requerida y a la hora deseada. Diseñar el dispositivo para alimento seco. Por la salud de nuestros peludos y nuestra tranquilidad, se requiere el diseño de un dispositivo que permite alimentarlos estemos o no en la casa, con la cantidad de alimento precisa y a un horario definido según los requerimiento de mascota. Alcance: entregar un prototipo funcional, rediseñar para determinado volumen de producción. Requerimientos de diseño: prototipo, diferente tamaños de grano, gramaje regulable 250 g - 600 g, dispositivo con funcionamiento temporizado, hermético, materiales aislantes térmicos, apto para comida refrigerada, fácil ingreso del alimento, fácil de limpiar, económico inferior a $USD 50, personalizable y estéticamente agradable	 Diseño innovador con refrigeración y baterías
Diseño de un horno solar (Moncayo *et al.*, 2021) / Realizar estudios del estado del arte de hornos solares. Establecer las necesidades de diseño para un horno solar casero, definiendo dimensiones, materiales y costo. Realizar un modelo 3D en un *software* CAD del horno solar a fabricar. Manufacturar un prototipo de un horno solar de acuerdo al diseño establecido. Criterios de diseño: peso de la estructura, volumen de la estructura, área de trabajo, generación de kW, inversión, eficiencia, mantenimiento periódico, huella de carbono, lubricación, partes de la máquina, tiempo de montaje. Requerimientos del usuario y características cuantificables: Uso: aumentar la velocidad de cocción, menor número de operadores, maximizar seguridad del usuario, disminuir el número de accidentes; función: aumentar la ergonomía de la estructura, disminuir número de piezas, aumentar facilidad del montaje, aumentar los grados de libertad de la estructura; estructurales: disminuir el peso total de la máquina, garantizar el equilibrio de la estructura, disminuir tiempo de ensamble, disminuir área de trabajo; técnicos: disminuir el costo de fabricación, disminuir tiempo de capacitación, garantizar la disponibilidad de materiales, menor tiempo de mantenimiento	

Elevador para el mantenimiento de motocicletas (Rohden, 2012) /
El proyecto tiene como objetivo diseñar un ascensor neumático para talleres de motocicletas, con el fin de que el servicio de mantenimiento sea flexible, con mayores posibilidades de posicionamiento de la motocicleta. La demanda de mercado en esta área de servicio apunta a un crecimiento significativo, y con los modelos actuales se tienen funciones limitadas y algunos métodos de posicionamiento comprometen la Integridad del mecánico y de la motocicleta.
Especificaciones del proyecto: capacidad de carga ≤ 250 kg, costo del producto $USD 500, inclinación lateral ≥ 10°, sistema de inclinación longitudinal ≥ 30°, sistema de elevación ≤ 1 m, fuerza del cilindro neumático ≤ 15 N, altura de elevación ≤ 1 m, altura de descanso ≤ 300 mm, accionamiento del cilindro ≤ 2 puntos de ajuste, velocidad de elevación ≤ 1,5 m/s, ancho de la plataforma ≥ 835 mm, frecuencia de mantenimiento ≤ 1/ año, fijación ≤ 30 s y ≤ 2 puntos de ajuste, longitud de la plataforma ≥ 2430 mm, vida útil ≥ 4 años



Modelo simplificado del concepto de elevador neumático



Detalles del sistema de fijación e inclinación

Rediseño de una bicicleta de alquiler (De-Lima, 2011) /
Este proyecto consiste en el desarrollo de una nueva bicicleta de alquiler.
El objetico es el rediseño de una bicicleta de alquiler para ocio al aire libre, que incluye modificaciones en función de las necesidades de los usuarios y mejoras inspiradas en problemas identificados en las bicicletas existentes.
La mayoría de los proyectos de desarrollo de productos están relacionados con mejoras a un producto existente. En la industria de ingeniería el 55% de los proyectos son adaptativos; es decir, adaptan un sistema conocido a un cambio de tarea, y el 20% de los proyectos son proyectos de variación, que solo varían sus medidas. y/o su configuración. Tanto los proyectos de adaptación como los de variación son rediseños de productos existentes que reúnen nuevas especificaciones de productos.
Requisitos del proyecto:

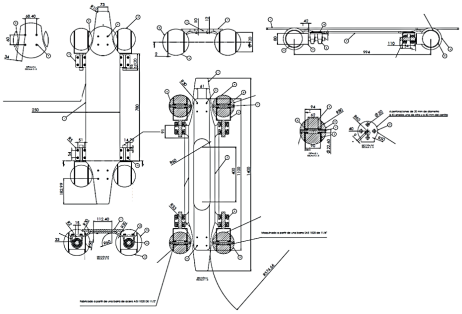
Concepto inicial individual

Concepto con unión lateral

Factores de uso: facilidad de pedaleo, fácil adaptación del asiento al cuerpo, ajuste de altura del asiento, facilidad de frenado, accesibilidad del frenos, ajuste del freno, volante más estable, sonido de advertencia, compartimento de almacenamiento para pertenencias, espejos retrovisores, factores funcionales: buena apariencia de la bicicleta, larga vida útil de materiales y acabados, facilidad de almacenamiento

Concepto con unión trasera

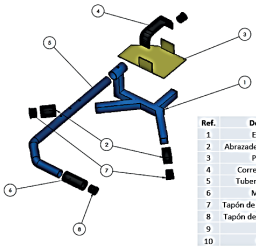
Proyecto *travers longborad* (Julio, 2015) /
El proyecto está enfocado en lo que es el diseño de una *longborad*, distinta a las que existen actualmente la cual brinde la oportunidad de realizar cosas diferentes en un concepto totalmente novedoso a lo que actualmente se conoce, esto para que los practicantes de esta modalidad de deporte en patineta puedan encontrar nuevas alternativas a las que actualmente existen. Diseñar una patineta que pueda satisfacer las necesidades técnicas, y que pueda resistir con gran eficiencia las condiciones a las que va a estar sometida, considerando la apariencia del producto, brindar la oportunidad de personalizar varios aspectos estéticos y artísticos de la patineta sin afectar o comprometer las características técnicas. Básicamente a lo que hace referencia el término *longborad* es a tablas largas, es un deporte que nació entre los años 1960-1980, se le llama tabla larga porque las tablas que se utilizan son mucho más largas que las que hasta ese momento se utilizaban; este tipo de tablas son básicamente utilizadas en su mayoría para bajar pendientes o cuestas inclinadas, en donde pueden alcanzar hasta 100 km/h



10	Tornillo M10		Tornillo cilindrico con hueco hexagonal	16
9	Tornillo M4		Tornillo avellanado con hueco hexagonal + Tuerca DIN 985	8
8	Sujetador manzana	AISI 1020	Maquinado a partir de una barra 11/2"	8
7	Kit manzana bicicleta	Varios	Tuerca + Eje + Rodamiento	4
6	Soportes de pie con rodamientos Y	Varios	REF. SFT 25 TF. soportes de fundición con base corta, con prisioneros	8
5	Rueda lateral	Poliuretano	Rueda lateral + Rosca	8
4	Rueda central	Poliuretano	Fundido en model de aluminio	4
3	Retenedor	AISI 304	Barra soldad por SMAW	4
2	Esqueleto	Fundicion nodul	Molde desechable y área verde	1
1	Tabla	Madera enchap	Laminas prensadas de madera	1
Numero	Descripcion	Material	Comentarios	Cantidad
Diseño y Dibujo Jaime Luis Julio	LONGBORAD TRAVERS			Escala 2:6

Diseño de silla de ruedas personalizada (Acosta *et al*., 2019) /
Diseño personalizado considerando al usuario: debido a su avanzada edad se le dificulta mucho caminar al igual que moverse por sus propios medios es por esto que el diseño de la silla de ruedas permite ser diferente a lo convencional al no surgir la necesidad de ser auto impulsada. Requerimientos y características de ingeniería: máxima plegabilidad, estabilidad, estética, aplicación de una estructura diferente, características de la persona, versatilidad y comodidad en el diseño y transporte

Escalador de poste (Arboleda *et al.*, 2015) / Definición del problema: el trabajo es postes, pilares o torres, representa un elevado nivel de riesgo debido a que normalmente solo se cuenta con los equipos de protección individual que se porta al momento de realizar un trabajo, existen diseños solo para cierto tipo de poste, hay postes que no cuenta con elementos que permitan la escalada, largos periodos de tiempo en la que las personas están suspendida realizando trabajos, tiempos de escalada, manejo solo por personal capacitado.
Esta herramienta de trabajo para escalada de postes, se aplica al uso del sistema de energía, también es aplicable en telecomunicaciones y radiodifusión y otras industrias que se encargan de instalación, mantenimiento y reparación de redes aéreas sobre postes.
Objetivo general: desarrollar un mecanismo que permita escalar postes de diversas formas y diámetros, de forma fácil, ágil y segura, para realizar trabajos de altura.
Requerimientos de ingeniería: deben ser resistentes a la corrosión y a impactos; los dos escaladores deben ser homogéneos en tamaño, forma y materiales; ambos escaladores deben quedar asegurados totalmente de forma horizontal, de tal manera que tenga tres puntos de apoyo sobre el poste; el prototipo debe ser liviano, para facilitar el movimiento de los pies cuando se está escalando; escaladores desmontables de modo que facilite su transporte; apariencia y colores de los escaladores agradables; cada escalador debe tener una plataforma de apoyo para los pies; cada escalador debe ser ajustable para diferentes medidas en el mismo poste; cada escalador debe tener la capacidad de soportar entre 150 kg y 180 kg de peso; cada escalador no debe superar un peso de entre 4 kg - 6 kg; el costo de compra o fabricación de los dos escaladores no debe superar los $USD 50; bajo costo de mantenimiento y reparación sencilla



Ref.	Descripción	Cant.	Especificaciones
1	Estructura	2	Tubería cuadrada 25x25mm calibre 16
2	Abrazadera antideslizante	4	Caucho de neumático
3	Placa Base	2	Lamina de aluminio antideslizante
4	Correa de sujeción	2	—
5	Tubería de sujeción	2	Tubería 1" 1/2 calibre 14
6	Manigueta	2	Manigueta GW
7	Tapón de tubería Cuadrada	6	25x25mm 20mm
8	Tapón de tubería Redonda	4	ϕ 29 x 20 mm
9	Pin	2	Tornillo rosca fina 5/16"
10	Pintura	2	Lata de pintura en aerosol (azul)

Imágenes del prototipo escalador de poste

A cada uno de los diez proyectos de ingeniería de sistemas mecánicos propuestos en la tabla anterior se les puede emplear para aplicar las diversas metodologías existentes de proyectos de ingeniería, dando respuesta a los cuestionamientos básicos del: 1) qué?, 2) porqué?, 3) para quién?, 4) para qué?, 5) cómo?, 6) quiénes?, 7) cuándo? (Pahl y Beitz, 2007; Ulrich y Eppinger, 2013; Cross, 2002; Kaminski, 2000; Dym et al., 2014; Dieter y Schmidt, 2020; Pugh, 1991; Miles, 2015; Vernadat, 1996; Chorafas, 2001). Y que según la rama de ingeniería que enfrente el proyecto podrán profundizar y detallar la fase que sea de mayor interés, y que mediante la conformación de grupos interdisciplinarios de ingenierías que enfrenten los proyectos puedan robustecer y especificar con detalle el proyecto y darle

un mayor valor agregado, ya que sin dudas la conformación de equipos de trabajo con profesionales de diferentes áreas del conocimiento es la manera más acertada de obtener mayor éxito con los resultados del proyecto de ingeniería, considerando una gran variedad de enfoques y aportes.

CONCLUSIONES

El libro Proyectos de diseño mecánico para ingenieros, presenta de manera ordenada, sintetizada y metódica, la forma de obtener resultados satisfactorios en el diseño y fabricación de varias máquinas con cierto grado de dificultad, así: 1) diseño y construcción de una máquina roladora de rodillos para láminas, 2) diseño y construcción de una máquina dobladora para perfiles metálicos, y 3) aplicaciones de proyectos de sistemas mecánicos. Mediante la aplicación de fundamentos teóricos y diferentes metodológicos de diseño, que permiten clarificar cada uno de los proyectos, y avanzando en las fases de diseño conceptual, hasta seleccionar las mejores alternativas de solución, complementariamente con las fases de diseño preliminar se logran obtener diseños de detalles, que permiten la manufactura de cada una de las máquinas.

La gran importancia que se da a la fabricación de los diseños demuestra a los lectores que si es posible obtener éxitos en el proceso de diseño, si se contemplan todas las fases del diseño empleando metodologías acordes a cada proyecto como lo son aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en retos; y que de distintas formas se pueden abordar los proyectos de ingeniería, con las herramientas adecuadas y mediante los métodos correctos; la comunicación permanente de todos los actores que aportan en el diseño y la fabricación permitirán un buen resultado.

En los diseños de cada una de las máquinas se primó tener conceptos originales, fáciles, innovadores, versátiles, y lo más importante viables técnica y económicamente. Se logra manufacturar todas las máquinas porque siempre se pensó que lo que diseñaba fuera viable con la adquisición de materiales, de procesos de manufactura, del aporte de los operarios de las máquinas herramientas y el uso de un gran porcentaje de elementos comerciales.

4.1 CONCLUSIONES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ROLADORA DE RODILLOS PARA LÁMINAS

Algunas empresas, talleres metalmecánicos y negocios pequeños recurren a diseñar y fabricar su propia roladora de rodillos para lámina por su habilidad de imitar los resultados de las roladoras industriales y por un menor costo. Está roladora está conformada por tres rodillos como la roladora industrial, pero en lugar de contar con un mecanismo automatizado, tiene una manivela que permite girar los rodillos. La desventaja de estas roladoras manuales es que requieren de alguien que esté operando la manivela constantemente para poder mover los rodillos, aun así logra sus propósitos.

Si bien la máquina roladora de rodillos para láminas de accionamiento manual resulta un buen sustituto, no podrá proveer resultados eficaces por contar únicamente con los tres rodillos principales y depender de la fuerza de quien la opera. Asimismo, la producción será en menor cantidad y los productos estarán sujetos a los diseños de los rodillos con los que esté fabricada la máquina.

Este proyecto orienta a los lectores en la forma de seleccionar y evaluar una máquina roladora de láminas para una aplicación específica, ya que el estudio de estado del arte presenta de forma clara la clasificación de máquinas roladoras según número y disposición de rodillos, logrando diferenciar los principios de funcionamiento de los tipos de roladoras existentes. Con esta información se selecciona adecuadamente una máquina roladora que se adapte a una aplicación particular y según las necesidades.

Aunque existen máquina roladoras de dos rodillos, tres rodillos y cuatro rodillos, se puede afirmar que las roladoras de tres rodillos tienen una gran acogida y son mayoritariamente empleadas en los diversos sectores industriales, con una amplia clasificación según el tipo: 1) tipo *Pinch*, 2) tipo apriete inicial sencillo, 3) tipo doble apriete, 4) tipo geometría variable y 5) tipo piramidal.

Entre las características más relevantes de una máquina roladora de rodillos se destacan. El espesor y ancho de la lámina a ser rolada, diámetro máximo que la máquina permite rolar, diámetro de los rodillos y tipo de accionamiento; pero se le debe dar atención a los materiales y características finales de los rodillos de rolado, ya que los rodillos son uno de los elementos claves para un buen funcionamiento del proceso y garantizar una vida útil apropiada en la máquina roladora.

Para lograr con éxito el diseño y fabricación de una roladora de rodillos para láminas, se muestra la importancia de iniciar el proceso de diseño, realizando las definiciones del proyecto de forma que los fundamentos teóricos y principios físicos de la temática y clasificación del rolado de láminas, clarifiquen el problema y orienten al diseñador en las primeras alternativas de solución. Es así como es clave comprender para el proyecto: el proceso de rolado, los tipos de procesos dependiendo del material el cual se va a doblar, los subsistemas que conforman una máquina roladora, el tipo de accionamiento, la clasificación de máquinas roladoras según número y disposición de rodillos, y la aplicación debido al gran impacto que tiene el proceso de rolado es que le permite la fabricación de un rolado especifico.

Todo lo anterior permite entender plenamente el proceso de rolado de rodillos para láminas y faculta al diseñador en tener claridad de los mecanismos y variables que son fundamentales y facilitara las fases de diseño.

La máquina roladora de rodillos para láminas es dividida en tres subsistemas: subsistema 1. Rodillos de rolado; subsistema 2. Transmisión de potencia y subsistema 3. Estructura de la máquina; este último subsistema a la vez conformado por tres geometrías estructurales: 1) marco estructural de placas laterales, 2) base estructural, y 3) medio de desplazamiento. Los componentes de mayor relevancia de la máquina roladora son los tres rodillos de rolado, que son parte del subsistema 1. Los rodillos durante el proceso de rolado de las láminas tienen contacto permanente con el material a rolar, por lo que están sometidas a esfuerzos y desgaste todo el tiempo, a partir de estudios del estado del arte y experiencias de profesionales en ingeniería los rodillos deben ser fabricados con acero

AISI 1045 y sometidos al tratamiento térmico de cementación buscando que estos tengan una dureza final de 50 HRC a 52 HRC, a partir del diseño preliminar se logra la forma geométrica de los rodillos para obtener el rolada de láminas planas, también se consigue dimensionar los rodillos cumpliendo con el parámetro de rolar láminas de máximo 500 mm de ancho, y con un diámetro de rolado máximo de 500 mm.

En la fase de manufactura se presentan de forma ordenada los tres subsistemas de la máquina y los elementos que conforman cada uno de ellos, los cuales deben sincronizarse para lograr obtener la integridad de la máquina roladora de láminas, es vital que los procesos de manufactura empleados estén disponibles y sean viables técnica y económicamente. El diseñador debe pensar siempre en cada uno de los procesos de manufactura que le permitirán fabricar todas las piezas, en qué condiciones llega la materia prima y cuáles elementos serán comerciales, sin olvidar la mano de obra que se requiere en cada fase.

Posterior a la manufactura de los tres subsistemas que conforman la máquina roladora de rodillos para láminas, se realizan pruebas de funcionamiento de la máquina que permite validar el óptimo funcionamiento de la máquina en búsqueda del cumplimento de las especificaciones y donde se realizan ajustes al diseño.

Las especificaciones de un proyecto direccionan la alternativa de solución y el cumplimento de la función principal siempre debe estar presente en todo momento. Se pretendía diseñar una máquina roladora de rodillos para láminas de máximo 3/16” de espesor, pero las recomendación luego de realizar distintas pruebas de operación es emplear la máquina para el rolado de láminas de espesor calibre 14 (0,0747” o 1,9 mm) el cual es un espesor ideal para las condiciones de diseño de la máquina y lograr un buen desempeño aumentando su vida útil, como también darle el alcance a la máquina de rolado láminas de espesor calibre 15 (0,0673” o 1,71 mm) y de espesor 1/16” (0,0625” o 1,58 mm); espesores de láminas de calibres menores a 1/16”, como los son el calibre 16 (0,0598” o 1,52 mm) y el calibre 17 (0,0538” o 1,37 mm) pueden ser rolados con facilidad.

Se logra el rolado de láminas planas, con dimensiones máximas de ancho 500 mm y diámetro de rolado de 500 mm, la máquina roladora de rodillos para láminas funciono en condiciones óptimas, logrando el alcance del proyecto con las especificaciones trazadas.

4.2 CONCLUSIONES DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOBLADORA PARA PERFILES METÁLICOS

Se logró diseñar y construir una máquina dobladora para perfiles metálicos de accionamiento manual, sencilla y versátil, que permite y facilita el proceso de doblado de perfiles metálicos, que cumple con las especificaciones y requisitos técnicos establecidos desde la fase inicial del proyecto.

El proyecto, permite adquirir conocimientos sólidos sobre las diferentes técnicas utilizadas para el doblado de perfiles metálicos, ya que es un proceso importante que se aplica a los materiales. Se estudiaron diferentes tipos de principios de doblado, desde los más contemporáneos que incluyen máquinas manuales, hasta sistemas más robustos como máquinas de CNC para este proceso. Con base en esto, se presentaron diferentes alternativas de diseño de las cuales se eligió la que más se ajustaba a las necesidades planteadas.

Se realizó un análisis detallado para determinar el diseño óptimo de la máquina dobladora seleccionada. Se consideraron criterios como el costo, la precisión, la facilidad de construcción, entre otros, para llegar a las especificaciones técnicas finales de la máquina. Esto garantizó que el diseño cumpliera con los requisitos del proyecto de manera efectiva.

Se construyó una máquina dobladora de perfiles metálicos mediante procesos de manufactura convencionales y maquinas herramientas manuales, de manera que facilitaran los procesos de manufactura, lo que permitió una reducción de los costos de fabricación y tiempo de manufactura, y se garantizaran las geometrías de los componentes según las especificaciones del diseño.

Haciendo una evaluación del resultado final de la máquina mediante pruebas con perfiles de ensayo se logró determinar lo siguiente: para perfiles circulares la máquina tiene algunos inconvenientes debido a que el radio de curvatura de los dados fabricados es muy pequeño, lo que ocasiona una deformación del perfil en forma de rechupe o magulladura. Para perfiles planos o varillas se cumple satisfactoriamente con el proceso de doblado, logrando minimizar el esfuerzo requerido, facilitando el proceso de manera manual y asegurando una precisión en el doblado, lo que permite una repetibilidad de la operación.

Se identificaron los costos asociados a la construcción de la máquina, incluyendo costos de materia prima, mano de obra y los diferentes procesos de fabricación. Con esto se recalca la importancia en todo proyector de partir de un buen diseño conceptual, de manera que se minimicen los posibles errores o cambios que puedan surgir durante las otras fases del proyecto; ya que generalmente las modificaciones de última hora en un proyecto representan costos adicionales. La identificación de los costos de todos los elementos de un proyecto permiten evaluar significativamente el diseño y ayudan a determinar con anterioridad los procesos de manufactura de cada una de las piezas que puedan fabricarse y que los costos de fabricación no se eleven, ya que según las especificaciones de diseño que se fijen a una pieza se puede obtener por diferentes procesos de manufactura, pero unos más complejos que otros y de mayores costos.

Aunque la buena y amplia formación que reciben los ingenieros para enfrentar todo tipo de proyectos de ingeniería, como profesionales deben apoyarse en los técnicos y operarios de producción o de planta para lograr que el diseño pueda concebirse según las especificaciones finales y considerando los conocimientos prácticos, habilidades y competencias de este personal; además, de realizar consultas previas con ellos

para conocer detalles de equipos, procesos de manufactura, herramientas, tiempos de fabricación, cuidados y seguridad en los procesos, entre otros; una buena comunicación entre los profesionales técnicos y los ingenieros conllevara a una mayor probabilidad de éxito en los proyectos.

4.3 CONCLUSIONES APLICACIONES DE PROYECTOS DE SISTEMAS MECÁNICOS

Abordar un proyecto requiere tener claridad de una metodología para desarrollarlo que atienda la forma fundamental de presentarlo, para ello se describen algunos elementos claves del mismo proyecto que se relacionan: 1) qué?: nombre del proyecto; 2) porqué?: problema, necesidad u oportunidad identificada en el mercado; 3) para quién?: mercado objetivo; 4) para qué?: objetivo general; 5) cómo?: producto que resuelve la oportunidad o problema identificado; 6) quiénes?: equipo de trabajo que respalda el proyecto; 7) cuándo?: tiempo requerido para desarrollar la solución; responder con juicio y rigurosidad estas preguntas permitirá darle viabilidad técnica y económica al proyecto, posibilitando una planeación y desarrollo más acertado en las distintas fases del proyecto.

El proyecto triciclo de derrape, anima a la participación e integración de los integrantes donde son conformados seis equipos de trabajo que a su vez se concentran en los subsistemas que se crearon para conformar el vehículo: 1) subsistema chasis, 2) subsistema ruedas, 3) subsistema asiento, 4) subsistema dirección, 5) subsistema frenos, y 6) subsistema eje trasero y elementos complementarios. Es un proyecto que requiere muy buena comunicación entre todos los integrantes de cada uno de los equipos de trabajo y de quienes forman cada equipo; se establecen de forma muy detallada las especificaciones que se proyectan para el diseño del triciclo de derrape, divididas en los mismos subsistemas que se conformaron para integrar el vehículo; se diferencian los requerimientos obligatorios que son que deben satisfacerse, de los requerimientos deseables son aquellos que el cliente o el ingeniero desearía satisfacer en caso de ser posible.

El diseño final del triciclo de derrape es un diseño que es innovador, versátil, seguro, confortable, de fácil manufactura, elegante, con un estilo vanguardista, y de bajo costo, conformado por un total de 49 elementos principales, de las cuales el 87% son piezas comerciales y de adquisición con proveedores locales, lo que permite realizar una consecución oportuna de todas estas componentes, los elementos que son fabricados desde cero son evaluados desde las etapas de diseño hasta lograr su manufactura, todas las partes se integran hasta obtener un producto de muy buen apariencia, donde su funcionalidad y seguridad priman.

Los diez proyectos propuestos: 1) elevador de acceso a piscinas para discapacitados, 2) dispositivo para el ensilaje, 3) máquina para flexión y extensión de rodilla, 4) dispensador automático de alimento refrigerado para mascotas, 5) diseño de un horno solar, 6) elevador para el mantenimiento de motocicletas, 7) rediseño de una bicicleta de alquiler, 8) proyecto

travers longborad, 9) diseño de silla de ruedas personalizada, y 10) escalador de poste. Son un abre bocas a la inspiración y pasión de todo ingeniero; son presentados de forma muy general con algunas especificaciones iniciales e incluso unas ideas de conceptos que podrían bien dar solución a cada uno de los problemas; pero que sin dudas requieren de mayores estudios de antecedentes para profundizar en los contextos y principios de funcionamiento de cada uno, una amplia documentación que permita abordarlos de manera ordenada y acertada, una evaluación de las condiciones actuales y lo que se espera con cada uno de ellos, que permita a su vez profundizar en múltiples y viables alternativas de solución, que acompañados de un trabajo de equipo interdisciplinario conllevara a soluciones idóneas y una planeación con la aplicación de la metodología más acorde a cada proyecto de ingeniería.

REFERENCIAS

Acosta C. *et al*. (2019). Diseño de silla de ruedas personalizada. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Álvarez J. *et al*. (2015). Diseño y construcción de triciclo de derrape funcional. Proyecto final del curso Fundamentos de diseño. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Arango J. *et al*. (1990). Diseño de una cilindradora. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente División de Ingeniería. Cali. Colombia.

Arango M. *et al*. (2021). Dispensador automático de alimento refrigerado para mascotas. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Arboleda R. *et al*. (2015). Escalador de poste. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Arroyave A. *et al*. (2021). Máquina para flexión y extensión de rodilla. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

ATB G. (2023). ATB Riva Calzoni Colombia. ATB Group tendrá que construir las tuberías forzadas de una de las plantas hidroeléctricas más grandes de Colombia. Recuperado: https://www.atb.group/es/mag/2020-02-ituango-nuevo-pedido.html

Avner S. (1985). Introducción a la metalurgia física. Segunda edición. McGraw-Hill. México.

Ayala. (2023). Corporación Ayala S.A. Servicio de rolado. Recuperado: https://corporacionayalasac.com/corte-y-doblez/

By W. y Horwitz R. (2010). *The recumbent trike design primer*.

Cárdenas S. *et al*. (2015). Mono *trike*. Proyecto final del curso Fundamentos de diseño. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Cárdenas V. (1989). Introducción al conformado mecánico. Primera Edición. Quito. Ecuador.

CGA. (2023). Compañía General de Aceros. Tanques para combustible. Recuperado: https://www.cga.com.co/proyecto/tanques-para-combustibles/

Chorafas D. (2001). *Enterprise architecture and new generation information systems*. Editor Taylor & Francis Inc.

Cross N. (2002). Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos. *Engineering design methods*. Traducción de Fernando Roberto Pérez Vásquez. México Limusa Wiley.

De-Lima P. (2011). *Proposta de redesenho de uma bicicleta de locação*. Tesis de Maestría. *Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil*.

Dieter G. y Schmidt L. (2020). *Engineering design. Sixth edition*. Editorial McGraw-Hill.

Don-Bosco. (1999). Curso básico de matricería. Instituto Técnico Superior salesiano. Ecuador. Editorial Don Bosco.

Doyle L. (1988). Materiales y procesos de manufactura para ingenieros. Tercera edición. Prentice Hall Hispanoamérica. México.

Driftrike. (2015). *Driftrike world magazine*. Revista número 2. Recuperado: https://issuu.com/driftrikeworldmagazine/docs/revista_n__2_esp/30

Dym C. *et al*. (2014). *Engineering design: A project-based introduction*. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Faccin. (2023). Roladoras de láminas Faccin. Recuperado: https://www.faccin.com/es/producto/3hel/

Ferrasa. (2023). Catálogo de productos estructurales Ferrasa. Recuperado: https://es.scribd.com/document/648465565/Catalogo-FERRASA-Estructuras-Vers-04-04-2016

Feysama. (2023). *Sheet metal machinery* Feysama. Cilindradoras mecánicas. Recuperado: https://www.feysama.com/maquinaria-industrial/cilindradoras-mecanicas/

Flores F. (1991). Diseño de una máquina roladora de perfiles. Trabajo de grado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.

Gil J. (2018). Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa Coldidácticas Ltda. Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Colombia.

Google. (2023). Máquinas con rodachinas. Recuperado: https://www.google.com/search?q=maquinas+con+rodachinas

Groover M. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. McGraw-Hill Interamericana.

Iza B. (2007). Dimensionamiento y construcción de una roladora manual para laboratorio. Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.

Julio J. (2015). Proyecto *travers longborad*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Kalpakjian S. y Schmid S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. Cuarta Edición. Pearson Educación S.A. México.

Kaminski P. (2000). *Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade. Rio de Janeiro: Livros* Técnicos e Científicos.

Kasanas H. (1981). Procesos básicos de manufactura. McGraw-Hill. México.

Libón A. (2018). Diseño de un prototipo de curvatura de perfiles para la empresa Estructuras Metálicas Acabados Industriales S.A.S. Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Colombia.

Mejía D. (2011). Estudio del proceso de rolado de láminas metálicas y su incidencia en el tiempo de operación en la fabricación de tanques inoxidables en la empresa Inox-Tec en la ciudad de Latacunga. Trabajo de grado. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ecuador.

Mercadolibre. (2023-1). Roladora de lámina manual 4ft calibre 8. Recuperado: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-759383352-roladora-de-lamina-manual-4ft-cal-8-_JM

Mercadolibre. (2023-2). Roladora de lámina eléctrica 6ft calibre 10. Recuperado: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-759888221-roladora-de-lamina-electrica-6ft-cal-10-_JM

Mercadolibre. (2023-3). Dobladora de tubos manual. Recuperado: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-504289983-dobladora-de-tubos-manual-38-hasta-1-_JM

Metal C. (2023). Metal Cortes Risaralda S.A.S. Cilindrado de láminas. Recuperado:https://metalcortes.com.co/servicios/rolado-de-laminas/

Metal *Tools*. (2023). Metal *Tools* S.A. Curvadora de tubos y perfiles. Recuperado: https://metaltools.co/categorias/curvadora-de-tubos-y-perfiles/

Miles L. (2015). *Techniques of value analysis and value engineering*. Editorial McGraw-Hill. 3er Edition.

Molina M. *et al*. (2022). Proyecto final: Diseño y construcción de una roladora de rodillos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Moncayo J. *et al*. (2021). Diseño de un horno solar. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Montalván R. y Urbina C. (2012). Diseño de una roladora para el laboratorio de conformación de metales. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Tecnología de la Industria. Nicaragua.

Morales J. (2020). Rediseño de un triciclo para competencia en paraciclismo tipo T2 de la Fundación Paso a Paso. Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería Mecánica. Colombia.

Nargesa. (2023). Curvadora de tubos y perfiles MC400. Recuperado: https://nargesa.com/es/maquinaria-industrial/curvadora-de-tubos-perfiles

Núñez L. *et al*. (2021). Dispositivo para el ensilaje. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Ochoa A. *et al*. (2001). Diseño de una máquina para procesos de rolado y doblado de láminas comerciales. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Mecánica. Colombia.

Ortiz S. (2017). Diseño del marco estructural de un *trike* recumbente por medio de la técnica de optimización topológica. Tesis de Maestría, procesado y caracterización de materiales. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. España.

Pahl G. y Beitz W. (2007). *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science & Business Media.

Polideportes. (2021). *Drift Trike*: La cultura de los “Chicos corredores”. Polideportes periódico especializado en deportes. Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano.

Pugh S. (1991). *Total design: Integrated methods for successful product engineering.* Editorial Addison-Wesley.

Quvana. (2023). Marca Quvana. Roladora de lámina manual 4ft cal18. Recuperado: https://quvanafabricaciones.mercadoshops.com.mx/mlm-742022374-roladora-de-lamina-manual-4ft-cal18

Razor. (2023). Razor Dxt, Triciclo de derrape. Mercado Libre. Recuperado:https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-920660994-razor-dxt-triciclo-de-derrape-_JM

Rivas B. *et al*. (2017). Elevador de acceso a piscinas para discapacitados. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Rohden M. (2012). *Projeto conceitual de um elevador para manutenção de motocicletas.* Trabajo de grado. *Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina*. Brasil.

Sánchez J. *et al*. (2023). Proyecto final: Diseño y construcción de una máquina dobladora para perfiles metálicos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Tecnocurve. (2023). Mecanizados. Doblado de tubos, perfiles y tubulares. Recuperado: https://www.tecnocurve.es/mecanizado-tubos-perfiles-industria/

Ternium. (2023). Catálogo tubería y perfiles Ternium Colombia. Recuperado: https://co.ternium.com/media/1bajaxyo/cata-logo-productos-tuberi-a-y-perfiles-ternium-colombia.pdf

Ulrich K. y Eppinger S. (2013). Diseño y desarrollo de productos. Quinta edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.

Vargas G. *et al*. (2015). Diseño y manufactura de un Drift Trike. Proyecto final de la asignatura Diseño integrado. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Vernadat F. (1996). *Enterprize, modeling and integration: Principles and applications.* Chapman & Hal. Editorial: Springer.

Wick C. *et al*. (1984). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 4a. ed., vol. II, Forming, Society of Manufacturing Engineers, Dearbon, Mich*.

Wilches E. (2003). Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos. Trabajo de grado. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Colombia.

Yongnuo. (2023). *Taian Yongnuo Machinery Co*. Tanque de almacenamiento sobre el suelo. Recuperado: https://es.made-in-china.com/co_sdyongnuo/product_5000-Liter-30000-Liter-Stainless-Steel-Water-Storage-Tank-Price_uousnhynru.html

YouTube. (2023). Dobladora manual de tubo TM-025. México. Recuperado: https://www.youtube.com/watch?v=QqiiEU0s0aM

Zuluaga A. *et al*. (2015). Triciclo de derrape. Proyecto final del curso Fundamentos de diseño. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

SOBRE EL AUTOR

NELSON ANTONIO VANEGAS MOLINA - Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de São Paulo-Brasil. Profesor/investigador en categoría de profesor asociado en dedicación exclusiva del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín desde hace 20 años, en el área de diseño mecánico. Se ha desempeñado como director del: Laboratorio de Procesos de Manufactura, Laboratorio de Diagnóstico de Maquinaria y de la Sala Gráfica de Ingeniería Mecánica; Director del Área Curricular de Desarrollo Tecnológico Industrial, miembro del Comité Asesor del pregrado y posgrado del Área Curricular de Ingeniería Mecánica, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; miembro del Grupo de Investigación de Diseño Mecánico Computacional (DIMEC). Posee experiencia en la industria metalmecánica en la cual se desempeñó como director de proyectos.

Proyectos de diseño mecánico para ingenieros

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023

Proyectos de diseño mecánico para ingenieros

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023